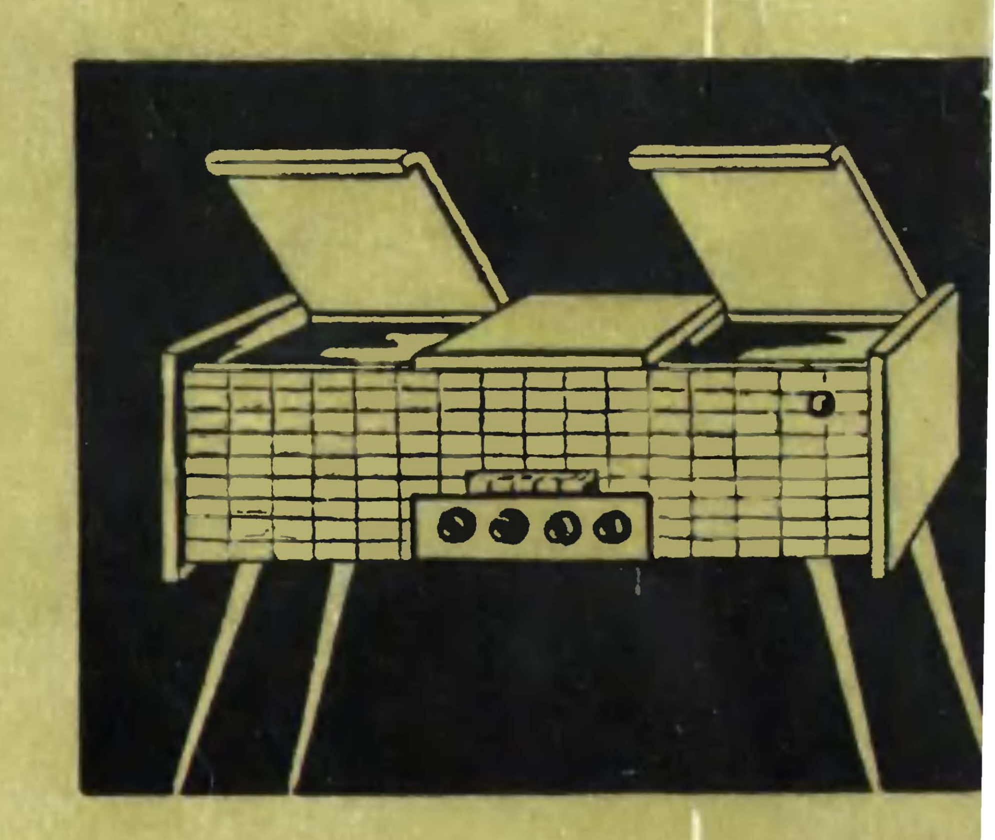
Г. С. Гендин

МАССОВАЯ РАДИО БИБЛИОТЕКА

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ





МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 577

Г. С. ГЕНДИН

ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫЕ ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1965 ЛЕНИНГРАД

УДК 621 375 2 · 534 76
Г 34

Рассматривается построение различных усилителей низкой частоты и акустических систем. Содержатся практические сведения по конструированию различных усилителей и их регулировке, а также описания самодельных конструкций.

Книга рассчитана на широкий круг радиолюбителей, интересующихся высококачественным воспроизведением звука.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В наши дни все больше и больше людей различных профессий отдают свой досуг увлекательному радиолюбительскому творчеству. Далеко в прошлое ушло то время, когда радиолюбители собирали свои конструкции по случайным «заграничным» описаниям из первых попавшихся под руку деталей в надежде получить необыкновенные результаты. Уже никто не пытается добиться высоких показателей от того или иного радиоаппарата путем слепого подбора его деталей.

Ведущими советскими учеными создана фундаментальная теория радиотехники. Учебниками Сифорова, Котельникова, Цыкина пользуются не только советские студенты и радиолюбители, но и многие специалисты за рубежом.

Наши радиолюбители, как правило, располагают современной измерительной аппаратурой, позволяющей грамотно наладить и отрегулировать самый сложный радиоаппарат. К их услугам предоставлены радиоклубы ДОСААФ, где они могут получить консультацию опытных специалистов.

Огромное количество выпускаемой в нашей стране технической литературы позволяет радиолюбителю творчески подойти к конструированию любого радиотехнического устройства. Тем не менее в среде радиолюбителей, занимающихся высококачественными усилителями низкой частоты, ощущается потребность в книге, которая смогла бы помочь им при разработке, сборке, регулировке и эксплуатации самодельных конструкций.

В данной книге приводятся подробные сведения о принципах конструирования высококачественных усилителей, излагаются соображения о выборе той или иной схемы или акустической системы, рассматриваются типичные ошибки, допускаемые радиолюбителями. Особое внимание уделено вопросам монтажа и регулировки усилителей. В конце книги имеется подробное описание нескольких конструкций усилителей различной сложности, выполненных на электронных лампах и на транзисторах.

СОДЕРЖАНИЕ

КОНСТРУИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ

Технические требования

Прежде чем приступать к конструированию усилителя низкой частоты, необходимо сформулировать предъявляемые к нему технические требования. К ним относятся выходная мощность при заданных нелинейных искажениях, чувствительность с входных гнезд на частоте 1 000 *гц*, полоса воспроизводимых частот при заданной неравномерности частотной характеристики, уровень собственных шумов, глубина регулировок тембра, пределы ручной регулировки громкости и ее характер (плавная, ступенчатая, тонкомпенсированная и т. п.).

Помимо этого, обычно указывается назначение усилителя и тип источника сигналов, подводимых к его входу. Для многоканальных и стереофонических усилителей, кроме того, указывают допустимое взаимное проникание сигналов одного канала в другой и допустимую неравномерность параметров каналов.

К специальным усилителям низкой частоты, предназначенным для звуковоспроизведения (например, установки с реверберацией, с объемным звучанием и т. п.) обычно предъявляют особые требования.

Приступая к конструированию усилителя, важно правильно выбрать основные его параметры, так как при заниженных требованиях усилитель окажется неудовлетворительным по качеству, а при завышенных будет неоправданно сложным и дорогим.

Усилители низкой частоты условно можно разделить на четыре группы. Их параметры приведены в табл. 1.

К первой группе относятся усилители, предназначенные для консольных радиол, «радиокомбайнов», профессиональных и студийных магнитофонов, высококачественных стереофонических установок и т. п. Такие усилители из-за их относительной сложности и высокой стоимости редко применяются радиолюбителями. Кроме того, столь высокие качественные показатели усилителя не всегда удается реализовать в домашних условиях из-за акустических данных жилых помещений и отсутствия соответствующих по параметрам источников низкочастотного сигнала (магнитная лента, грампластинки, магнитофон, звукосниматель и др.).

Усилители второй группы применяют для радиоприемников и радиол, радиокомбайнов и магнитофонов. Такие усилители квалифицированные радиолюбители строят довольно часто. Поэтому конструированию их уделено особое внимание.

Усилители третьей группы предназначаются для настольных приемников, радиол, магнитол и переносных магнитофонов. В ра-

Таблица 1

Основные электрические параметры усилителей низкой частоты

Параметр	Нормы по группам			
	I	II	III	IV
Выходная мощность, *вт*	>10	5—10	2—4	<2
Полоса воспроизводимых частот, *гц*	40—20 000	60—12 000	80—10 000	100—7 000
Коэффициент нелинейных искажений, %				
на частотах до 200 *гц*	3,5	5	5	7
на частотах выше 200 *гц*	1	3	3	5
Динамический диапазон, *дб*	60	54	50	40
Диапазон регулирования тембра на высших звуковых частотах, *дб*	±10	±6	±6	−10
Диапазон регулирования тембра низших звуковых частот, *дб*	±10	±6	±6	—
Чувствительность, *мв*	200	200	200	250

диолюбительской практике они наиболее распространены и используются в большинстве самодельных конструкций.

И, наконец, усилители, относящиеся к четвертой группе, применяются в упрощенных конструкциях радиограммофонов, магнитофонов, телевизоров и реже — в малогабаритных сетевых приемниках.

Усилители каждой группы требуют соответствующую акустическую систему, которая в простых конструкциях может состоять из одного или двух громкоговорителей. В более сложных монофонических усилителях применяют акустическую систему объемного звучания, состоящую из трех и более громкоговорителей, расположенных в различных плоскостях. К стереофоническому усилителю надо иметь две идентичные акустические системы

Для переносных магнитофонов и проигрывателей громкоговорители выбирают с учетом как электроакустических, так и конструктивных данных.

При решении вопроса о том, каким требованиям должен удовлетворять конструируемый усилитель, нужно исходить из параметров источника низкочастотных сигналов и акустических данных помещения, в котором усилитель будет работать. Так, для воспроизведения монофонических граммофонных и магнитофонных записей и радиопередач на длинных, средних и коротких волнах в большинстве случаев достаточно иметь усилитель с параметрами третьей группы. Усилители второй группы бывают необходимы при воспроизведении радиопередач с частотной модуляцией, стереофонических магнитных и граммофонных записей или для монофонических полупрофессиональных магнитофонов.

Акустические свойства помещения зависят в основном от его размеров и формы, а также от степени звукопоглощения и отражения, определяемой, как правило, находящейся мебелью и предметами домашнего обихода (ковры, портьеры, шторы). Для помещений размером менее 20 $м^2$ нецелесообразно делать усилители второй, а тем более первой группы, поскольку динамический диапазон такого усилителя (54—60 *дб*) в небольших помещениях реализовать не удастся, и, следовательно, их номинальная выходная мощность окажется практически ненужной.

Соображения по составлению блок-схемы

Выбрав группу проектируемого усилителя, приступают к составлению его блок-схемы. Первым решают вопрос о схеме оконечного каскада Усилители четвертой группы на электронных лампах всегда имеют однотактный выходной каскад, и лишь в транзисторных бестрансформаторных усилителях применяют двухтактные оконечные каскады. В усилителях третьей группы однотактный оконечный каскад применяется, как правило, лишь при мощности порядка 2 *вт*. При большей выходной мощности используют двухтактный каскад. Для усилителей первой и второй групп однотактный оконечный каскад не применяется. Более того, для снижения нелинейных искажений применяют ультралинейную схему включения выходных ламп, а также охватывают усилитель глубокой отрицательной обратной связью.

После выбора схемы оконечного каскада определяют напряжение сигнала, которое необходимо подвести к управляющей сетке его лампы (или ламп) для получения номинальной выходной мощности. Затем полученное значение (в вольтах) делят на чувствительность усилителя (0,2—0,25 *в*) и получают необходимый коэффициент усиления усилителя на средней частоте в относительных единицах (или разах). Относительные единицы удобнее перевести в децибелы (*дб*), что облегчит дальнейшие расчеты.

Найденный коэффициент усиления позволит получить требуемую выходную мощность лишь в том случае, когда усилитель не имеет раздельных регуляторов тембра В противном случае усиление надо повысить на столько децибел, на сколько предусмотрена регулировка тембра. Так, для усилителей первой группы эта величина составляет +10 *дб*.

Если усилитель охвачен отрицательной обратной связью, то реальный коэффициент усиления должен быть увеличен еще на столько децибел, сколько теряется от действия отрицательной обратной связи Когда усилитель имеет двухтактный оконечный каскад и фазоинвертор собран по схеме с разделенной нагрузкой, приходится учитывать, что коэффициент усиления такого фазоинвертора меньше единицы. Поэтому общий коэффициент усиления усилителя нужно увеличить еще в 1,2—2 раза.

Таким образом, в зависимости от найденного коэффициента уси-

ления выбирают необходимое количество и тип ламп для каскадов предварительного усиления, учитывая при этом, что реальный коэффициент усиления каскада всегда меньше коэффициента усиления лампы, указываемого в ее паспорте. Выбрав тип и количество ламп, приступают к составлению принципиальной схемы усилителя.

Выбор конструкции и компоновка усилителя

Приступая к компоновке усилителя, нужно знать габариты всех без исключения узлов и деталей, которые будут использованы при его изготовлении. Основными, определяющими конструкцию усилителя узлами следует считать выходной трансформатор и трансформатор питания, дроссель фильтра, электролитические конденсаторы, регуляторы громкости и тембра, выключатели и переключатели, а также входные и выходные гнезда, разъемы и т. п. Еще лучше начинать компоновку, когда все эти узлы и детали, а также громкоговорители (если они входят в футляр аппарата) уже имеются в наличии.

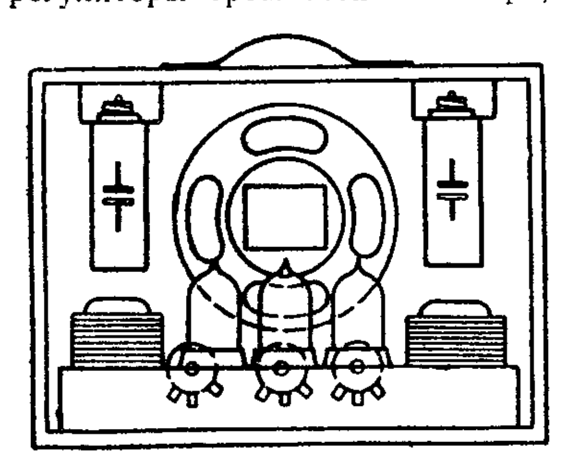


Рис. 1. Вариант конструкции переносного усилителя.

Исходя из назначения усилителя (переносный, стационарный, для приемника или радиокомбайна), определяют его конструктивное оформление. Так, например, если конструируют переносный усилитель, который должен быть размещен в одном небольшом чемодане вместе с громкоговорителем, то начинать компоновку нужно с размещения громкоговорителя и выбора размеров чемодана. Всю дальнейшую компоновку производят с учетом положения центра тяжести, поскольку усилитель переносный. Отсюда вытекает необходимость симметричного расположения деталей по весу, что сразу налагает определенные ограничения на свободу дальнейших конструктивных решений.

Наиболее целесообразным в этом случае будет расположение, указанное на рис. 1. Здесь громкоговоритель размещен в центре чемодана и смещен вверх. При этом в нижней части чемодана остается свободное место для размещения усилителя. Самые тяжелые детали — трансформаторы — лучше всего сделать на одинаковых сердечниках и разместить симметрично в нижних свободных углах. После этого конструкция самого усилителя окажется, по существу, определена. Он может быть размещен на небольшом шасси. Поскольку усилитель переносный и должен быть предельно легким, можно отказаться от применения в фильтре выпрямителя дросселя. Это допустимо в том случае, когда оконечный каскад двухтактный, так как он мало критичен к уровню пульсации выпрямленного напряжения, а для питания предварительных каскадов достаточно применить *RC*-фильтр, используя конденсаторы большой емкости (по 120—150 *мкф*). Регуляторы громкости и тембра лучше всего разместить так, чтобы между ними и точками присоединения к схеме было кратчайшее расстояние. Это позволит обойтись без экранировки соединительных проводов и повысит устойчивость работы усилителя. Лучше всего эти регуляторы разместить так, как показано на рис. 1.

После такой компоновки берут лист плотной бумаги и вычерчивают на нем в натуральную величину расположение всех узлов и деталей, находящихся на шасси. Затем в бумаге вырезают все нужные отверстия и обрезают по контуру. Вырезанную заготовку сгибают и в нужных местах закрепляют (например, канцелярскими скрепками). Так же изготавливают из бумаги кубики, имеющие габариты наиболее крупных деталей. На этих бумажных конструкциях окончательно отрабатывают компоновку усилителя. Используя макеты, легко внести необходимые коррективы в размещение деталей еще до изготовления шасси.

Когда вся конструкция окончательно отработана, на бумаге вычерчивают эскиз-выкройку шасси в натуральную величину и по нему изготовляют само шасси. Такой способ избавляет от досадных ошибок и необходимости переделки, что, в конечном итоге, экономит время и материал.

При конструировании всегда нужно помнить о запасе прочности с тем, чтобы, с одной стороны, была получена необходимая жесткость всей конструкции, а с другой, — чтобы конструкция не была неоправданно массивной и тяжелой, особенно когда идет речь о переносной и портативной аппаратуре. Если конструируют усилитель, который должен быть встроен в приемник, нужно придерживаться следующих правил. Мощные выходные лампы должны быть максимально удалены от деталей, нагрев которых недопустим (например, от элементов резонансных контуров, электролитических конденсаторов и т. п.). Входная лампа усилителя и регулятор громкости должны быть предельно удалены от трансформатора питания и цепей, коммутирующих напряжение электрической сети.

Трансформатор питания и выходной трансформатор должны быть размещены так, чтобы их магнитные поля не влияли друг на друга. Необходимо принять меры и для «мягкой» подвески блока конденсаторов переменной емкости и громкоговорителя с тем, чтобы максимально ослабить акустическую связь между ними, иначе при большой громкости эта связь приведет к акустическому самовозбуждению (вою) приемника.

Типичные ошибки конструирования

При конструировании усилителей часто допускаются одни и те же ошибки, главная из которых состоит в том, что большинство радиолюбителей стремится найти какую-то «необыкновенную» схему и ожидает получить от нее поразительные результаты. Такой ошибочный взгляд приводит к тому, что радиолюбитель, собрав сложный усилитель, не в состоянии его отрегулировать или найти и устранить причину его плохой работы и, естественно, не получает от него ожидаемых результатов.

Нужно помнить, что качество работы любого усилителя зависит не от сложности его схемы, а от того, насколько правильно выбраны режимы работы его элементов и в какой степени фактические режимы близки к рекомендованным.

Другая типичная ошибка — несоответствие требований, предъявляемых к усилителю, его потенциальным возможностям. Если, например, усилитель имеет неискаженную выходную мощность 2 *вт*, а громкость воспроизведения кажется недостаточной, то бесполезно пытаться увеличить громкость какими бы то ни было схемными ухищрениями. Единственно возможный в этом случае выход — коренная переделка усилителя и в первую очередь его оконечного каскада.

Третья ошибка — несоответствие между усилителем и акустической системой При выборе акустической системы нужно знать неискаженную выходную мощность и полосу воспроизводимых усилителем частот. Суммарная мощность применеиных громкоговорителей должна быть на 30—50% больше номинальной выходной мощности усилителя, а собственную резонансную частоту акустической системы желательно выбирать ниже иижней границы полосы пропускания усилителя В противном случае будут слышны искажения на частотах, соответствующих собственным резонансным частотам громкоговорителей, а радиолюбитель будет пытаться устранить их регулировкой схемы, хотя в этом случае причина искажений не будет зависеть от усилителя.

Еще одна типичная ошибка, связанная с акустической системой, состоит в том, что наблюдаемые при работе дребезжания часто относят за счет неисправности усилителя Однако в большинстве случаев дребезжание бывает вызвано неаккуратностью сборки акустической системы.

Одна из наиболее частых ошибок — использование радиоламп и транзисторов в недопустимых режимах. Нужно твердо помнить, что превышение предельных значений напряжений, токов и мощностей рассеяния для электровакуумных и полупроводниковых приборов не может быть оправдано ни в каких случаях и неизбежно приводит к их неустойчивой работе и быстрому выходу из строя. Особенно опасны превышения допустимых режимов для транзисторов, которые могут при этом выйти из строя в течение нескольких секунд.

Наконец, нужно отметить важное значение монтажа для хорошей работы усилителя. Радиолюбители, как правило, монтируют усилители, пользуясь лишь принципиальной схемой, а не монтажиой. Поэтому порядок монтажа и расположение деталей на шасси определяются самим радиолюбителем. В то же время такие параметры усилителя, как уровень фона и верхняя граница полосы пропускания наполовину зависят от того, как выполнен монтаж. Существует ряд правил монтажа, которые необходимо знать и выполнять. Следует обратить также особое внимание на экранировку и правильный выбор длины входных и выходных соединительных шлангов и коммутации входа усилителя в радиокомбайнах.

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ КАСКАДОВ

Оконечный однотактный каскад

Однотактная схема оконечного каскада (рис. 2) широко применяется в простейших усилителях с неискаженной выходной мощностью порядка 1—2 *вт*. Основные достоинства однотактной схемы заключаются в простоте ее регулировки и наличии всего одной лампы. Наряду с этим однотактная схема обладает и серьезными недостатками. Первый из них состоит в том, что лампа обычно работает в режиме А, являющемся наименее экономичным по потреблению мощности от источника питания, что приводит к низкому к. п. д.

Второй недостаток однотактной схемы — подмагничивание анодным током лампы сердечника выходного трансформатора, вызывающее необходимость увеличения его габаритов и приводящее к появлению дополнительных нелинейных искажений в случае насыщения сердечника.

В радиолюбительской практике встречаются трансформаторные однотактные оконечные каскады, построенные исключительно на радиолампах. Так как транзисторные однотактные оконечные каскады в высококачественных усилителях низкой частоты почти не применяются, они рассматриваться не будут.

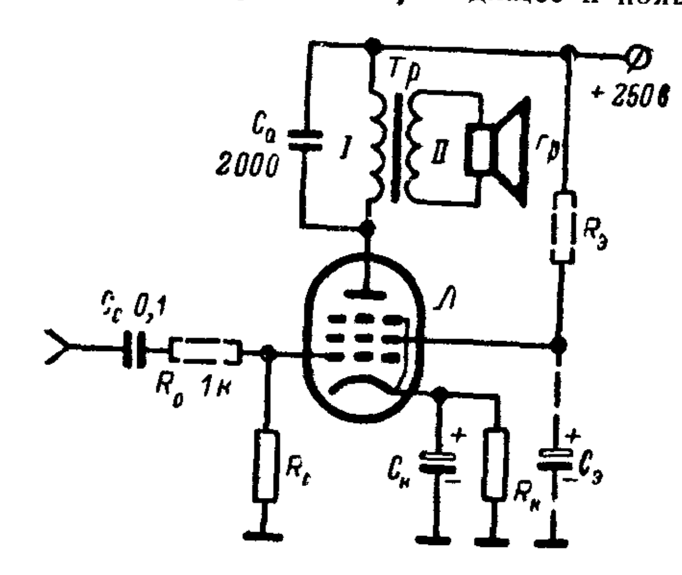


Рис. 2 Однотактный оконечный каскад.

Схема на лампе 6Ф3П. В однотактном каскаде может быть использована пентодная часть лампы 6Ф3П. Номиналы деталей и напряжения на электродах лампы приведены в табл 2.

Таблица 2

Типовые данные однотактного оконечного каскада

Тип радиолампы	P, *вт*	$R_с$, *ком*	$R_э$, *ком*	$C_э$, *мкф*	$R_к$, *ом*	$C_к$, *мкф*	$U_а$, *в*	$U_э$, *в*	$U_к$, *в*
6П14П	2,0	470	—	—	150	100	245	250	6
6Ф3П	1,6	330	13	30	300	50	240	150	12
6П1П, 6П6С	2,5	470	—	—	300	100	245	250	11,5

К особенностям схемы на этой лампе нужно отнести некоторую склонность усилителя к самовозбуждению на ультразвуковой частоте (30—80 *кгц*) при охватывании каскада глубокой отрицательной обратной связью. Для предотвращения этого явления в цепь управляющей сетки последовательно с разделительным (переходным) конденсатором включают резистор сопротивлением 1—5 *ком* любой мощности.

Вторая особенность лампы — склонность к появлению термотоков в цепи управляющей сетки. Для избежания этого сопротивление утечки сетки не следует брать больше 330—470 *ком*. По этой же причине нельзя допускать даже незначительного перекала катода, а также превышать указанные мощности рассеяния на аноде и особенно на экранирующей сетке.

Выходной трансформатор имеет следующие данные. Сердечник — из пластин Ш-19, толщина набора 28 *мм*; зазор в магнитопроводе 0,15 *мм*. Первичная обмотка имеет 2 400 витков провода ПЭЛ 0,15, а вторичная — 70 витков провода ПЭЛ 0,8 и рассчитана на подключение двух параллельно соединенных громкоговорителей 1ГД-9 или 1ГД-18. В случае применения других громкоговорителей число витков вторичной обмоткн нужно изменить в зависимости от сопротивлення звуковой катушки громкоговорителя. Номинальная выходная мощность получается при подведении к управляющей сетке лампы напряжения сигнала около 10 *в*.

Схема на лучевом тетроде 6П1П допускает и фиксированное смещение. В этом случае сопротивление $R_к$ и конденсатор $C_к$ в цепи катода исключают, вывод катода соединяют с шасси, а нижний по схеме конец резистора $R_с$ отсоединяют от шасси и присоединяют к отрицательному полюсу источника напряжения смещения. Если внутреннее сопротивление этого источннка велико (несколько килоом) или из этой же точки снимается напряжение для других каскадов усилителя, то нижний по схеме конец резистора $R_с$ необходимо «развязать», т. е. заземлить эту точку схемы по переменному току, для чего между ней и шасси включают конденсатор емкостью 10—100 *мкф* на рабочее напряжение 20 *в* (плюсом на шасси). Напряжение смещения должно быть равно —12,5 *в*.

Лампа 6П1С — аналог лампы 6П6П н поэтому может быть использована вместо последней во всех схемах без всякой переделки и регулировки (не считая изменения цоколевки).

Схема включения этой лампы может быть легко превращена в ультралинейную, для чего нужно сделать отвод от первичной обмотки выходного трансформатора и подключить к нему экранирующую сетку лампы. После такой переделки коэффнциент нелинейных искажений при той же выходной мощности снизится примерно до 1%. Одиако чувствительность каскада уменьшится из-за сильной отрицательной обратной связи по экранирующей сетке. Поэтому для получения неискаженной выходной мощности 2,5 *вт* на управляющую сетку лампы нужно подать от предварительного каскада напряжение порядка 11 *в*. Кроме того, в ультралинейном режиме значительно изменяется внутреннее сопротивление лампы, поэтому для согласования каскада с нагрузкой целесообразно вторичную обмотку выходного трансформатора намотать с отводами и подобрать место включення громкоговорителя по максимальной выходной мощности и минимальным искажениям.

Для этих ламп выходной трансформатор может иметь следующие данные: сердечник из пластин Ш-16, толщина набора 24 *мм*, первнчная обмотка имеет 2 600 витков провода ПЭЛ 0,15. Число витков вторичной обмотки, намотаниой проводом ПЭЛ 0,8, зависит от сопротивления звуковых катушек громкоговорителей. Лучше всего ее намотать до заполнеиия каркаса с отводами через каждые 15—20 внтков. В сердечнике трансформатора нужно сделать зазор 0,12 *мм*.

Лучевой тетрод 6П14П имеет большую крутизну характеристики, благодаря чему для получения одинаковой с предыдущими лампами выходиой мощности она требует меньшее напряжение на управляющей сетке. Поэтому лампа 6П14П почти полностью вытеснила остальные оконечные лампы из усилителей низкой частоты.

Повышенная крутизна характеристики лампы 6П14П достигнута путем уменьшения расстояния управляющая сетка — катод, в связи с чем для этой лампы характерны склонность к термотокам при перекале и больший разброс параметров. Поэтому лампы 6П14П лучше всегда применять в схеме с автоматическим смещением.

По этой же причине можно рекомендовать в случае ультралинейной схемы включения экранирующую сетку лампы подключать не непосредственно к отводу от первичой обмотки выходного трансформатора, а через параллельно включенные резистор сопротивлением 3,3 *ком* (1 *вт*) и конденсатор емкостью 1—5 *мкф* на напряжение 160 *в* (типа МБМ или МБГП). Еще лучше использовать электролитический конденсатор емкостью 10—30 *мкф* на напряжение 150—250 *в*, подключая его плюсовым выводом к отводу первичной обмотки трансформатора и минусовым выводом к экранирующей сетке лампы, однако конденсатор нужно будет изолировать от шасси.

В указанных режимах оконечный каскад отдает неискаженную выходную мощность 2,0 *вт* при среднем коэффициенте нелинейных искажений 5% для обычного н 2% для ультралинейного варианта.

Выходной трансформатор имеет следующие данные. Сердечник из пластин Ш-19, толщина набора 28 *мм*, зазор в магнитопроводе — 0,1—0,12 *мм*. Первичная обмотка имеет 2 400 витков провода ПЭЛ 0,15, а вторичная — 66 витков провода ПЭЛ 0,8 (для громкоговорителя 2ГД-3 или 4ГД-1). Акустическую систему можно составить и из двух громкоговорителей (2ГД-3 и 1ГД-9). В этом случае громкоговоритель 1ГД-9 подключают к отводу от 47-го витка вторичной обмоткн. В случае применения ультралинейной схемы экранирующую сетку лампы нужно подключить к отводу от 1 900-го витка первичной обмотки трансформатора, считая от вывода, подключенного к аноду лампы.

Резистор $R_к$ в цепи автоматического смещения при достаточном предварительном усилении можно не блокировать конденсатором $C_к$. Возникающая при этом отрицательная обратная связь по току снижает коэффициент нелинейных искажений каскада и уменьшает неравномерность его частотной характеристнки.

Оконечный двухтактиый каскад

Двухтактный оконечный каскад, схема которого показана на рнс. 3, имеет ряд преимуществ перед однотактным. Он позволяет получить бóльшую выходную мощность при значительно меньших нелинейных нскажениях, более экономичен, а выходной трасформатор работает без постоянного подмагничивания сердечника. Все эти преимущества привели к тому, что в высококачественных усилителях мощности применяют исключительно двухтактную схему.

В двухтактном оконечном каскаде на лампах может быть использована пентодная часть лампы 6Ф3П (рис. 3, *а*). Так как эта лампа склонна к появлению термотока в цепи управляющей сетки, не рекомендуется использовать в цепи этой сетки резистор сопротивлением более 330 *ком*. По этой же причине че следует применять фиксированное смещенне.

Выходной трансформатор наматывают на сердечнике нз пластин Ш-19, толщина набора 28 *мм* Первичная обмотка имеет 1 200+ +1 200 витков провода ПЭВ или ПЭЛ 0,15. Вторичная обмотка состоит из 80 внтков провода ПЭЛ 0,8. Целесообразно эту обмотку выполнить с отводамн через каждые 15—20 витков, начиная от полови-

ны общего числа витков, и наматывать ее до заполнения каркаса, что позволит при регулировке схемы выбрать оптимальный коэффициент трансформации. Пластины сердечника собирают без зазора в магнитопроводе.

Максимальиая неискаженная выходная мощность, отдаваемая каскадом на лампах 6Ф3П, при указанных в табл. 3 величинах деталей и режимах на электродах ламп и коэффициенте нелинейных искажений около 5% составляет 3 *вт* и может быть получена при подведении к каждой из управляющих сеток ламп переменного напряжения сигнал примерно 10 *в*.

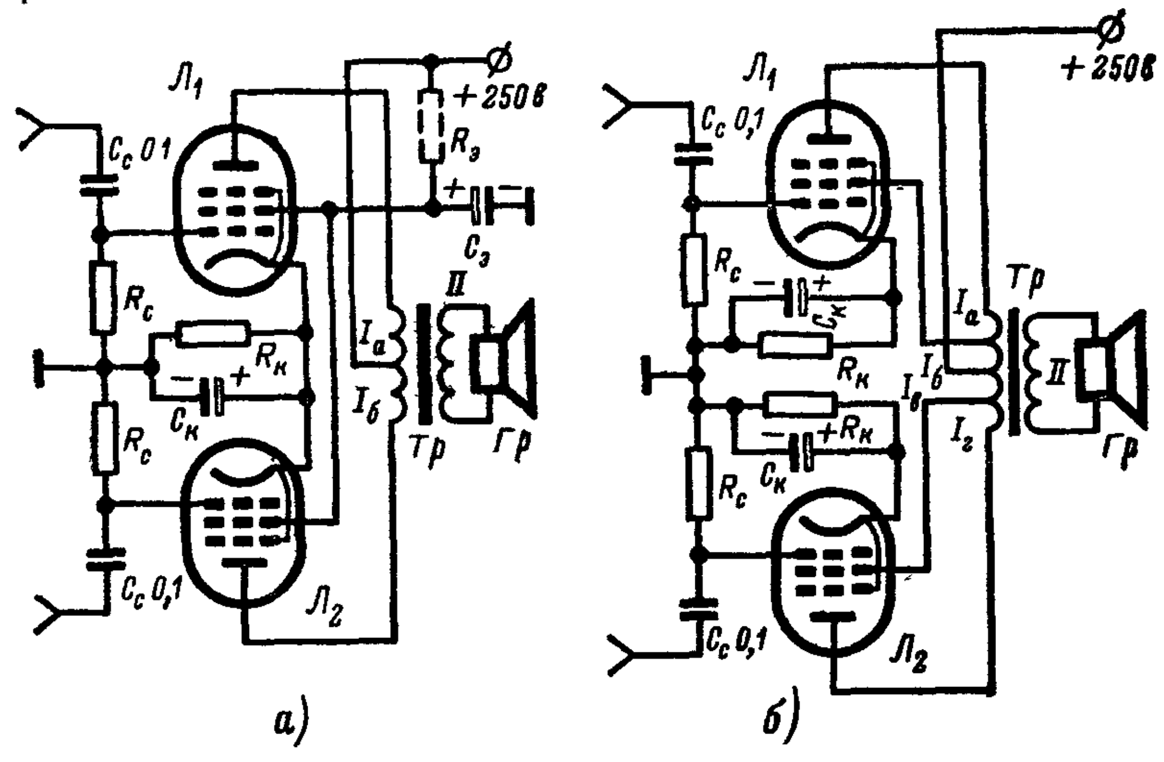


Рис. 3 Двухтактный оконечный каскад.

а — обычная схема, *б* — ультралинейная схема.

Оконечный каскад, собранный на лампах 6П1П по схеме на рис 3, *а*, может отдать в нагрузку более 10 *вт* выходной мощности при искажениях порядка 5%. Схема одинаково хорошо работает как в режимах А или В, так и в промежуточных режимах. При работе в режиме В можно рекомендовать фиксированное смещение, а в режиме А — автоматическое. Источник напряжения для фиксированного смещения должен быть надежно «развязан», для чего на его выходе необходим электролитический конденсатор емкостью от 50 до 200 *мкф*.

С целью получения наименьших нелинейных искажений целесообразно применить ультралинейную схему оконечного каскада, показанную на рис. 3, *б*. В этом случае коэффициент нелинейных искажений при номинальной выходной мощности 5 *вт* снижается до 0,7—1,5%. В то же время необходимое напряжение раскачки увеличивается приблизительно в 1,5 раза, что необходимо учитывать при расчете коэффициента усиления предварительных каскадов усиления и фазоинвертора.

Выходной трансформатор для обычного варианта схемы имеет сердечник из пластин Ш-16, толщина набора 32 *мм* Первичная обмотка состоит из 1 000+1 000 витков провода ПЭЛ 0,12. Вторичная обмотка содержит 40 витков провода ПЭЛ 0,8. При указанном коэффициенте трансформации сопротивление нагрузки должно составлять 3,5 *ом*.

Для ультралинейного каскада выходной трансформатор лучше выполнить с чередующимися секциями В этом случае его наматывают на сердечнике из пластин Ш-28, толщина набора 40 *мм*. Каждая половина первичной обмотки состоит из 1 200 витков провода

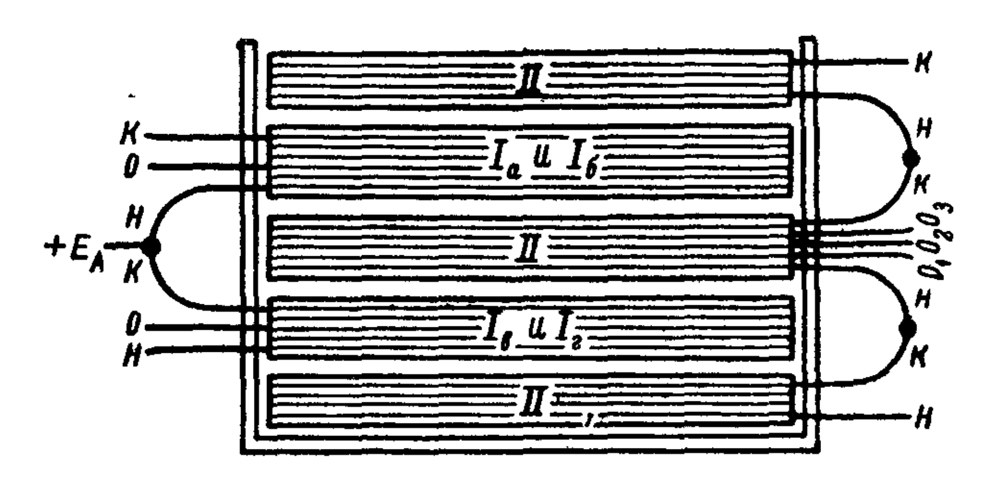


Рис. 4. Расположение секций обмоток на каркасе выходного трансформатора.

ПЭЛ 0,2 с отводом от 500-го витка, а вторичная обмотка — из 120 витков провода ПЭЛ 0,8. Вторичная обмотка разбита на три секции, две из которых имеют по 30 витков, а третья 60 с отводами через каждые 15 витков. Расположение секций на каркасе трансформатора показано на рис. 4.

Отводы от вторичной обмотки трансформатора позволяют использовать усилитель с самыми разнообразными акустическими системами, имеющими различные входные сопротивления, а также получать различные напряжения обратной связи, как отрицательной, так и положительной. Благодаря этому такой выходной трансформатор может быть применен в различных усилителях.

В случае обычного включения оконечный каскад имеет по напряжению равномерную частотную характеристику в пределах от 60 до 12 000 *гц*. В случае применения ультралинейной схемы и выходного трансформатора с чередующимися обмотками характеристика становится равномерной в пределах от 40 до 30 000 *гц*, а на уровне 0,7 от среднего значения — в пределах от 20 до 50 000 *гц*.

Двухтактный оконечный каскад на лампах 6П14П может отдать в нагрузку около 8 *вт* выходной мощности при нелинейных искажениях не более 5%. В форсированном режиме при анодном напряжении 275 *в* и нелинейных искажениях порядка 8% каскад может отдать в нагрузку мощность до 15—17 *вт*. Благодаря большей крутизне характеристики ламп 6П14П для получения указанной выходной мощности к управляющим сеткам ламп нужно подвести меньшее переменное напряжение раскачки. Это позволяет выполнить фазоин-

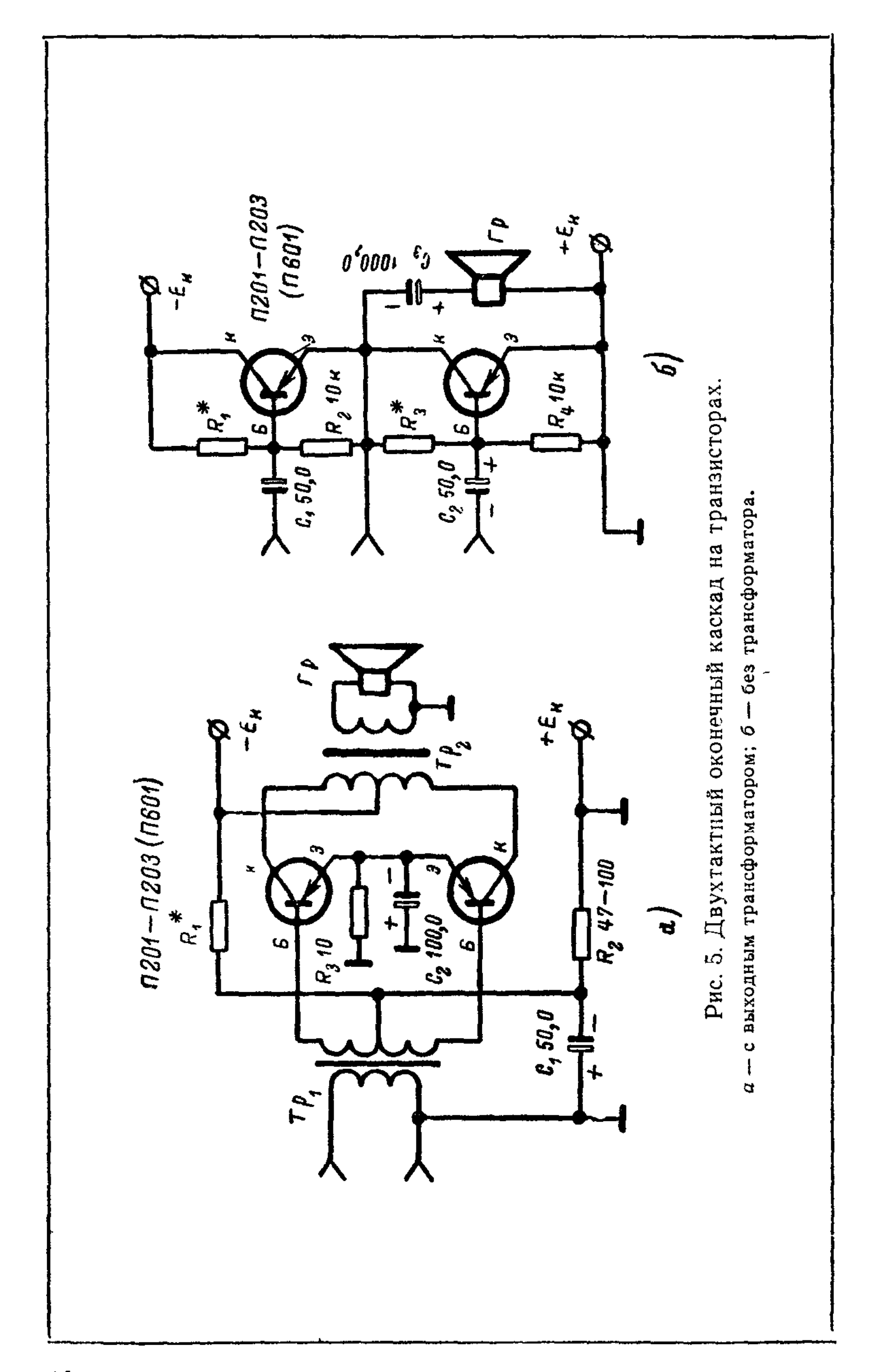


Рис. 5. Двухтактный оконечный каскад на транзисторах.

а — с выходным трансформатором; *б* — без трансформатора.

версный каскад на одном триоде по схеме с разделенными нагрузками прн обычном (+250 *в*) напряжении нсточника анодного питания.

Как и в предыдущем случае, каскад на лампах 6П14П может быть использован и в ультралинейном режнме. Фикснрованное смещенне для лампы 6П14П менее желательно, поэтому во всех случаях следует применять автоматическое смещение. Наилучшие результаты получаются при работе каскада в режиме AB_1 и полной симметрии плеч, так как при этом максимальная выходная мощность с допустимыми искажениями (2,5—3%) получается при наибольшем к. п. д. В ультралинейном режнме при тщательной балансировке плеч и предварительном отборе ламп коэффициент нелинейных искажений может быть доведен до 0,8—1,3%.

Балансировать плечи любого двухтактного каскада нужно двумя способами, неприемлемыми при крупносерийном производстве радиоаппаратуры, но весьма желательными в радиолюбительской практике прн создании высококачественных усилнтелей.

Сначала из некоторого числа имеющихся ламп отбнрают две лампы с одинаковыми катодными токами (в статическом режиме), а затем добиваются идентичностн плеч в динамическом режиме, для чего отобранные лампы устанавливают в усилитель, один нз резисторов автоматнческого смещения в любом нз плеч делают переменным и, изменяя его сопротивление, одновременно измеряют коэффнциент нелннейных искажений при помощи нзмерителя нелинейных искажений (приборы ИНИ-11, С-6-7, ИНИ-12 и им подобные).

Движок резистора фиксируют в положении, при котором искажения получаются минимальными. При этом нужно быть твердо уверенным в том, что подводимые к управляющим сеткам переменные напряжения раскачки отлнчаются друг от друга не более чем на 0,5% и имеют собственный коэффициент нелинейных искажений не больше 0,2—0,5%.

Выходные трансформаторы для двухтактного оконечного каскада на лампах 6П14П нет смысла нзготавливать самому, поскольку большинство фабричных приемников («Люкс», «Дружба», «Фестиваль» и др.) имеют такой оконечный каскад. Поэтому целесообразно применить в своей конструкции выходной трансформатор от любого из таких приемников нлн, в крайнем случае, изготовить его по данным заводской инструкцни. При самостоятельном изготовленин выходного трансформатора вторичную обмотку следует делать с отводами, что позволит подключнть к усилителю любую акустическую снстему и добиться оптнмального согласования усилителя с нагрузкой.

Номиналы элементов схемы и напряжения на электродах ламп двухтактных каскадов приведены в табл. 3.

Двухтактный каскад иа транзисторах может быть выполнен как по схеме с выходным трансформатором, так и по бестрансформаторной схеме (рис. 5). Каждая из них имеет свои преимущества н недостатки.

Схема с трансформатором при работе транзисторов в режиме В может отдать в нагрузку номинальную неискаженную мощность при напряжении на коллекторе, равном 0,9 от указанного в паспорте на транзистор. В бестрансформаторной схеме эта же мощность может быть получена лишь при удвоенном напряжении питания. Первая схема может быть согласована практическн с любым, но только од-

Таблица 3

Типовые данные двухтактного оконечного каскада

Тип радиолампа	P, *вт*	$R_с$, *ком*	$R_э$, *ком*	$C_э$, *мкф*	$R_к$, *ом*	$C_к$, *мкф*	$U_а$, *в*	$U_э$, *в*	$U_к$, *в*
6П14П	8	390	—	—	130	100	245	250	10
6Ф3П	3	330	6,8	40	150	50	240	150	12
6П1П, 6П6П	6	330	—	—	150	100	240	250	11,5

ним громкоговорителем или акустическим агрегатом путем изменения числа витков вторичной обмотки выходного трансформатора. Вторая схема не критична к величине сопротивления нагрузки и к ней может быть подключен любой акустический агрегат. Перван схема обеспечивает линейность частотной характеристики в небольших пределах и имеет значительный завал на низких частотах из-за малой индуктивности первичной обмотки выходного трансформатора Вторая схема при достаточной емкости разделительных конденсаторов, и особенно в цепи громкоговорителя, позволяет получить линейную частотную характеристику от самых низких частот до верхней границы полосы пропускания, определяемой данными транзисторов. В первой схеме для получения симметричного и неискаженного напряжения раскачки желательно использовать фазоинвертор с переходным трансформатором, что вносит дополнительные частотные искажения Во второй схеме фазоинвертор легко выполняется на двух маломощных транзисторах разной проводимости, при этом переходные конденсаторы не нужны, в результате чего дополнительные частотные искажения не вносятся

Анализ обеих схем показывает, что схема с выходным трансформатором целесообразна лишь в тех случаях, когда необходимо получить максимальную выходную мощность при небольшом напряжении на коллекторе и когда допустима некоторая нелинейность частотной характеристики усилителя Типичным примером такого случая может быть усилитель для автомобильного приемника с выходной мощностью 2,5 *вт* и питанием от аккумулятора напряжением 12 *в*. Для сетевых транзисторных усилителей имеет смысл выбирать бестраисформаторную схему и делать выпрямитель на 24—40 *в* Также целесообразно использовать вторую схему и для переносных магнитофонов при условии, что выходная мощность не будет превышать 1 *вт*.

Выходной трансформатор для схемы на рис 5, *а* выполиен на сердечнике из пластин Ш-16, толщина набора 24 *мм* Первичная обмотка имеет 150×2 витков провода ПЭЛ 0,44. Вторичную обмотку наматывают проводом ПЭЛ 0,65 до заполнения каркаса с отводами через каждые 10—15 витков

Фазоинверсный каскад

Фазоинвертором называют каскад, с выхода которого снимают два равных по величине напряжения, сдвинутые между собой по фазе на 180°. В зависимости от схемы фазоинвертора напряжения на выходе могут быть либо больше, либо меньше напряжения на входе,

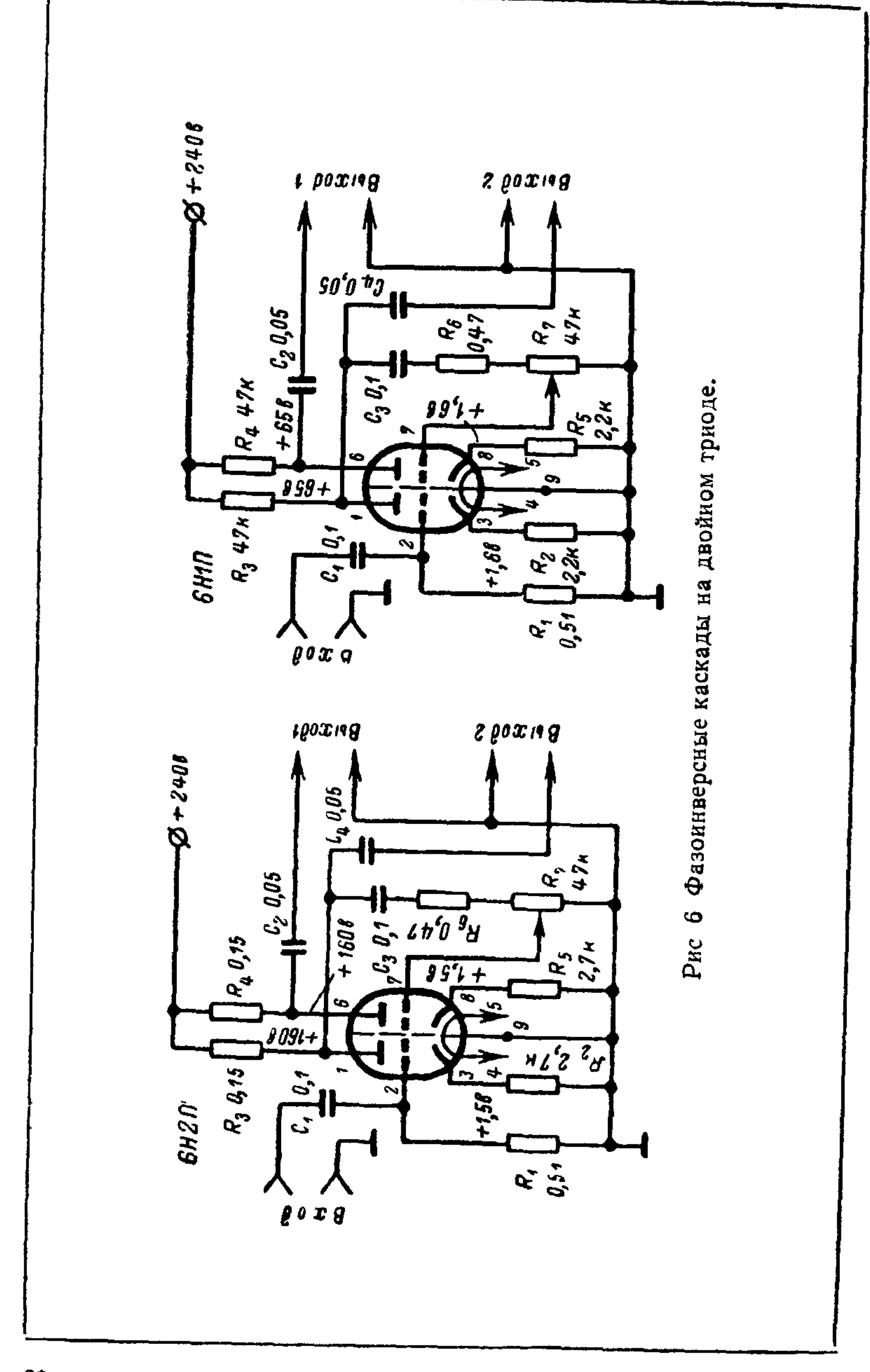


Рис 6 Фазоинверсные каскады на двойном триоде.

т. е. фазоинвертор может иметь коэффициент усиления как больше, так и меньше единицы.

Одна из простых схем фазоинвертора приведена на рис. 6. Работает она так. Сигнал, подведенный к управляющей сетке левого (по схеме) триода, усиливается им и с анода этого триода подается на один вход двухтактного оконечного каскада. Одновременно с этим сигнал через конденсатор C_3 и делитель, состоящий из резисторов R_6 и R_7, подводится к управляющей сетке правого триода. Делитель подбирают так, чтобы напряжение на управляющей сетке правого триода было равно входному напряжению. Тогда на выходе правого триода получится напряжение, равное напряжению на выходе левого триода, но сдвинутое относительно него на 180°. Для того чтобы при регулировке можно было добиться оптимальной балансировки выходных напряжений, резистор R_7 сделан переменным. При этом можно получить напряжения на выходах фазоинвертора, отличающиеся друг от друга на 0,1—0,5% во всем диапазоне усиливаемых частот. Емкость конденсатора C_3 должна быть от 0,1 до 2,0 *мкф*, чтобы на крайних низших частотах он не вызывал разбаланса выходных напряжений и не создавал между ними дополнительного сдвига фазы.

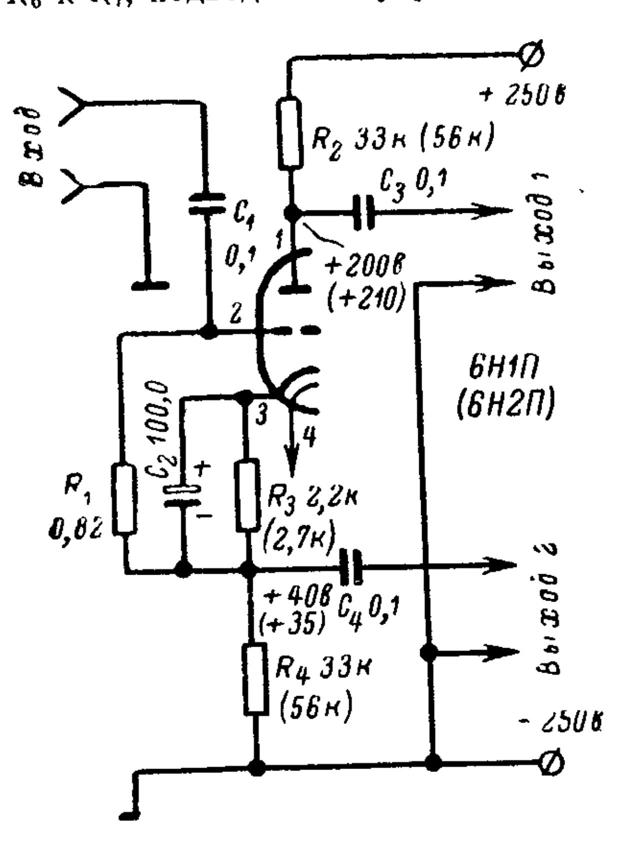


Рис. 7. Фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой.

Приведенная схема обладает большим коэффициентом усиления (примерно 60 для лампы 6Н2П и 30 для лампы 6Н1П), имеет хорошую частотную характеристику, вносит очень незначительные искажения и хорошо работает при пониженном анодном напряжении (150—200 *в*).

Другая схема фазоинвертора, содержащая только один триод, приведена на рис. 7. В ней сопротивление нагрузки разделено на две равные части, одна из которых включена в цепь анода, а другая — в цепь катода лампы. Входной сигнал подается на управляющую сетку лампы, а выходные напряжения, равные и противофазные, снимаются с резисторов R_2 и R_4, и через разделительные конденсаторы C_2 и C_3 подводятся к двухтактному каскаду. Нетрудно видеть, что эта схема представляет собой видоизмененный катодный повторитель, у которого, кроме нагрузки в цепи катода, имеется нагрузка еще и в цепи анода. Поскольку в цепи анода и катода триода протекает один и тот же ток, идентичность выходных напряжений фазоинвертора определяется исключительно идентичностью резисторов R_2 и R_4. Для получения оптимальных результатов при регулировке каскада

целесообразно резистор R_2 разбить на две части, одну из которых (меньшую) сделать регулируемой. В этом случае суммарное сопротивление нижнего (катодного) плеча нужно сделать на 10—15% больше сопротивления верхнего (анодного) плеча нагрузки.

Наряду с указанными достоинствами эта схема имеет и недостатки. Во-первых, как и всякий катодный повторитель, каскад имеет коэффициент усиления меньше единицы. Это приводит к необходимости вводить в схему усилителя дополнительный каскад, что сводит на нет его основное преимущество (одна лампа вместо двух). Во-вторых, из-за наличия двух сопротивлений нагрузки лампа работает фактически при небольшом анодном напряжении (напряжение между анодом и катодом лампы много ниже напряжения источника питания), что не позволяет получить больших выходных напряжений без нелинейных искажений. В ряде случаев этих напряжений недостаточно для раскачки двухтактного оконечного каскада. Поэтому такая схема удовлетворительно работает лишь при повышенном напряжении источника анодного питания (280—320 *в*).

Применять эту схему целесообразнее в том случае, если между фазоинвертором и оконечным каскадом имеется дополнительный предоконечный усилитель.

Схемы фазоинверсных каскадов на транзисторах показаны на рис. 8. В радиолюбительских конструкциях наиболее часто используют схему с переходным трансформатором (рис. 8, *а*), позволяющим лучше согласовать каскады. В зависимости от типов транзисторов, используемых в оконечном каскаде, в фазоинверторе могут быть применены транзисторы типа П13-П16 или П201.

В схеме рис. 8 резисторы R_1R_2 образуют делитель напряжения в цепи баз транзисторов, стабилизируя их рабочую точку. Величину сопротивления резистора R_1 лучше подобрать при регулировке усилителя по наименьшим нелинейным искажениям. Резистор R_3 в цепи эмиттеров, если он не заблокирован конденсатором, создает отрицательную обратную связь по току, также стабилизирует рабочие точки транзисторов. Однако в широкополосных усилителях для более равномерного усиления на низших частотах этот резистор лучше заблокировать конденсатором большой емкости.

Данные переходного трансформатора Tp_1 почти целиком зависят от параметров оконечного двухтактного каскада и транзисторов, используемых в нем. Поэтому в порядке примера ниже приведены данные переходного трансформатора фазоинвертора, собранного на транзисторе П13 для двухтактного оконечного каскада на транзисторах П201, работающих в режиме В. Сердечник собран из пластин Ш-9, толщина набора 16 *мм*. Первичная обмотка содержит 1 300 витков провода ПЭЛ 0,10, вторичная состоит из 2×165 витков провода ПЭЛ 0,15. Сердечник собирают встык с зазором 0,08—0,1 *мм*.

Приведенная на рис. 8, *а* схема наиболее целесообразна в сочетании с двухтактным бестрансформаторным оконечным каскадом, показанным на рис. 5, *б*. Принцип работы этой схемы заключается в том, что благодаря последовательному включению двух транзисторов с разным типом проводимости (*p-n-p* и *n-p-n*) удается получить на выходе каскада два противофазных и равных напряжения. Так как схема по существу работает с разделенными нагрузками, она эквивалентна эмиттерному повторителю, т. е. имеет коэффициент усиления меньше единицы. В то же время благодаря протеканию одного и того же тока через оба транзистора получается высокая идентич-

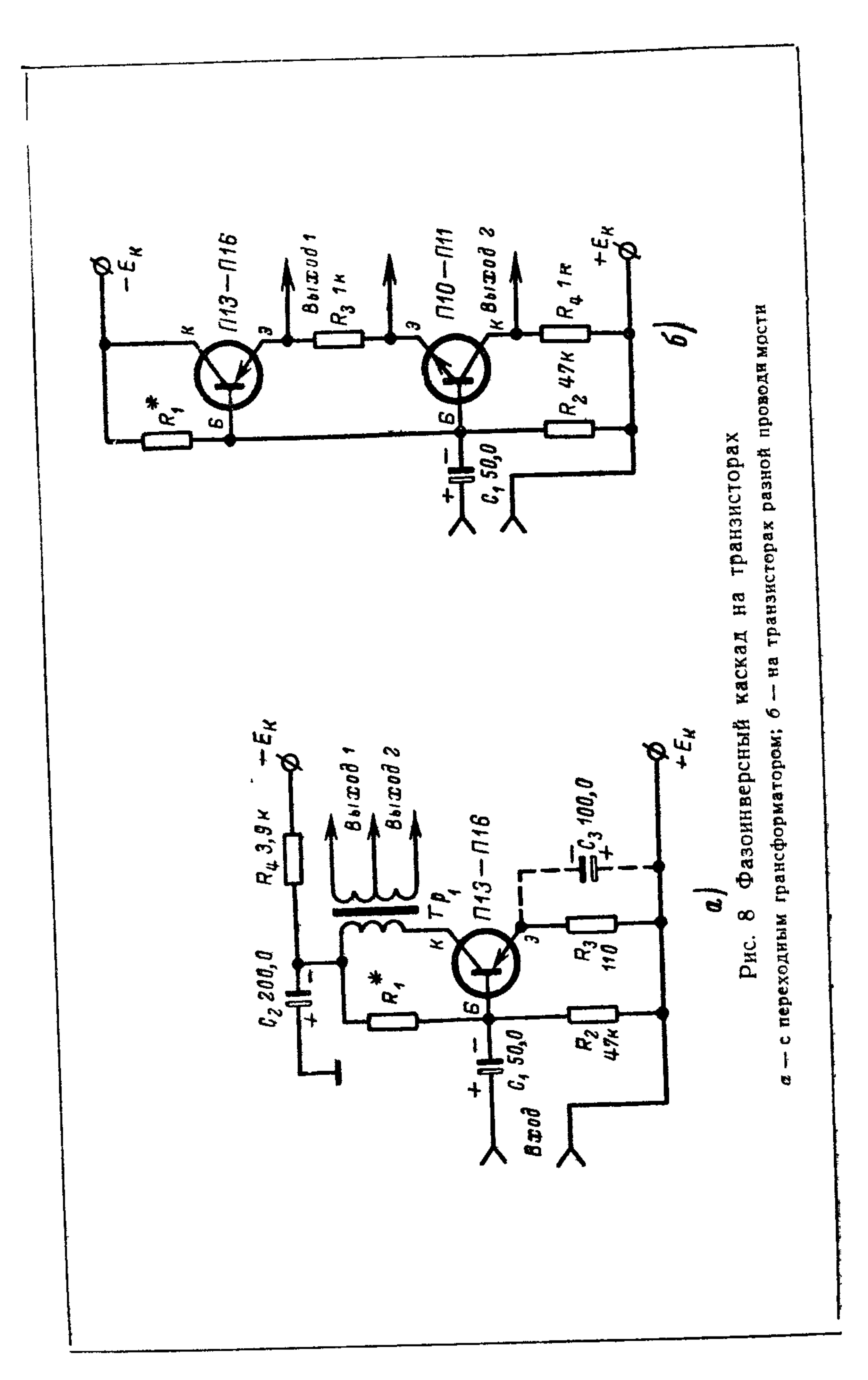


Рис. 8 Фазоинверсный каскад на транзисторах

а — с переходным трансформатором; б — на транзисторах разной проводимости

ность выходных напряжений. Такой фазоинверсный каскад работает в режиме, близком к режиму В, и для него характерна возможность возникновения нелинейных искажений Однако в отличие от других схем на транзисторах для этой схемы характерно появление искажений не при больших, а, наоборот, при очень малых уровнях сигнала. Эти специфические искажения называют переходными и устраняют небольшим смещением рабочей точки транзисторов в сторону режима А

Сопротивления резисторов, указанные на схеме — ориентировочные, в зависимости от типов примененных транзисторов и данных оконечного каскада, должны быть уточнены при регулировке усилителя

Каскад предварительного усиления

Задача каскада предварительного усиления состоит в максимальном увеличении подводимого к нему электрического сигнала без внесения в него частотных и нелинейных искажений, а также дополнительных составляющих, отсутствующих в подводимом сигнале (фон, наводки) Это последнее замечание, не существенное для схем с одним каскадом предварительного усиления, становится решающим фактором в многокаскадных усилителях, ставящим, по существу, предел возможному предварительному усилению

Для усилителей низкой частоты радиовещательной аппаратуры частотный диапазон лежит в пределах от 40 до 16 000 *гц* В этом диапазоне предварительное усиление сигнала без частотных искажений для усилителей на лампах несложно Для усилителей на транзисторах это несколько труднее.

В предварительных усилителях частотные искажения в области низших частот вызываются недостаточной емкостью переходных конденсаторов и малым входным сопротивлением следующего каскада Искажения в области высших частот возникают из-за больших емкостей монтажа, больших сопротивлений нагрузки каскада и паразитных отрицательных обратных связей через монтаж и цепи питания Для предотвращения частотных искажений следует сопротивление нагрузки каскада выбирать минимально возможным, лишь бы каскад давал требуемый коэффицент усиления. Для предотвращения частотных искажений на низших частотах сопротивления резистора утечки сетки последующего каскада не следует выбирать меньше 220 *ком* В то же время его не следует брать больше 1 *мом*, за исключением случаев работы каскада с автоматическим смещением за счет сеточных токов (такой способ получения смещения применяют только для микрофонных каскадов) Емкость переходных конденсаторов нужно брать по возможности большей, чтобы не создавать завала частотной характеристики в области низших частот. Во всех случаях следует применять конденсаторы емкостью 0,05—0,1 *мкф* Можно также рекомендовать каждый каскад предварительного усиления (за исключением тех, в которые входят регуляторы тембра) охватить отрицательной обратной связью по току, что улучшит частотную характеристику каскада и уменьшит вносимые им нелинейные искажения.

Рассмотрим несколько конкретных схем каскадов предварительного усиления. Каскад, показанный на рис. 9, работает на одном из триодов на лампе 6Н1П или 6Н2П с автоматическим смещением, резистор которого в цепи катода лампы не заблокирован конденсатором

Благодаря этому усилитель охвачен отрицательной обратной связью по току. В анодной цепи, помимо резистора R_3 (нагрузка), имеется резистор R_4, образующий вместе с конденсатором C_2 развязывающий фильтр, предотвращающий возникновение паразитной связи между каскадами и уменьшающий фон переменного тока от источника питания. При напряжении питания 250 *в* и сопротивлении утечки следующего каскада 220 *ком* каскад позволяет получить на выходе максимальное неискаженное напряжение около 9 *в* для лампы 6Н1П и около 12 *в* для лампы 6Н2П. При этом коэффициент усиления каскада с лампой 6Н1П равен 20—25, а с лампой 6Н2П — примерно 50.

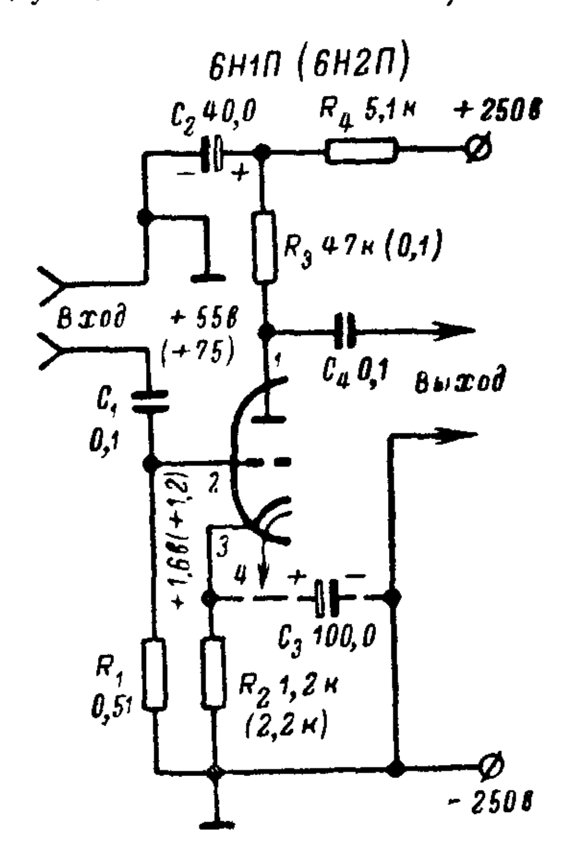


Рис. 9. Каскад предварительного усиления.

При указанных на схеме значениях деталей и режимах частотная характеристика каскада линейна в пределах от 20 до 40 000 *гц*. Коэффициент нелинейных искажений не превышает 0,1%.

При монтаже каскада необходимо «заземлить» девятую ножку ламповой панели, к которой выведен внутренний статический экран лампы, а также центральный лепесток ламповой панельки. Ни один из проводов накала лампы заземлять нельзя.

Схема каскада предварительного усиления на триодной части лампы 6Ф3П, предназначенного для построения двухкаскадного усилителя низкой частоты, приведена на рис. 10. Резистор R_2 в цепи катода триода служит для получения автоматического смещения и заблокирован электролитическим конденсатором C_2, а резистор R_3 предназначен для того, чтобы весь усилитель можно было охватить отрицательной обратной связью, напряжение которой снимается с выхода усилителя и через делитель, состоящий из резисторов R_6 и R_7, вводится в катодную цепь лампы. Величина обратной связи регулируется подбором сопротивления резистора R_6.

Усилитель на лампе 6Ф3П предназначен для простых конструкций Поэтому режим каскада выбран таким, чтобы чувствительность со входа получалась примерно 150—200 *мв* при регулировке тембра только по высоким частотам (этот регулятор входит в схему оконечного каскада).

Аналогичный предварительный усилитель может быть построен на триодной части лампы 6Ф1П (рис 11).

Эту лампу целесообразно применять в тех случаях, когда усилитель низкой частоты служит не самостоятельным устройством, а входит составной частью, например, в телевизор. В этом случае для уменьшения общего числа ламп пентодную часть лампы 6Ф1П

используют в высокочастотной части схемы, а триодную — в качестве предварительного усилителя низкой частоты перед однотактным оконечным каскадом (чаще всего на лампе 6П14П).

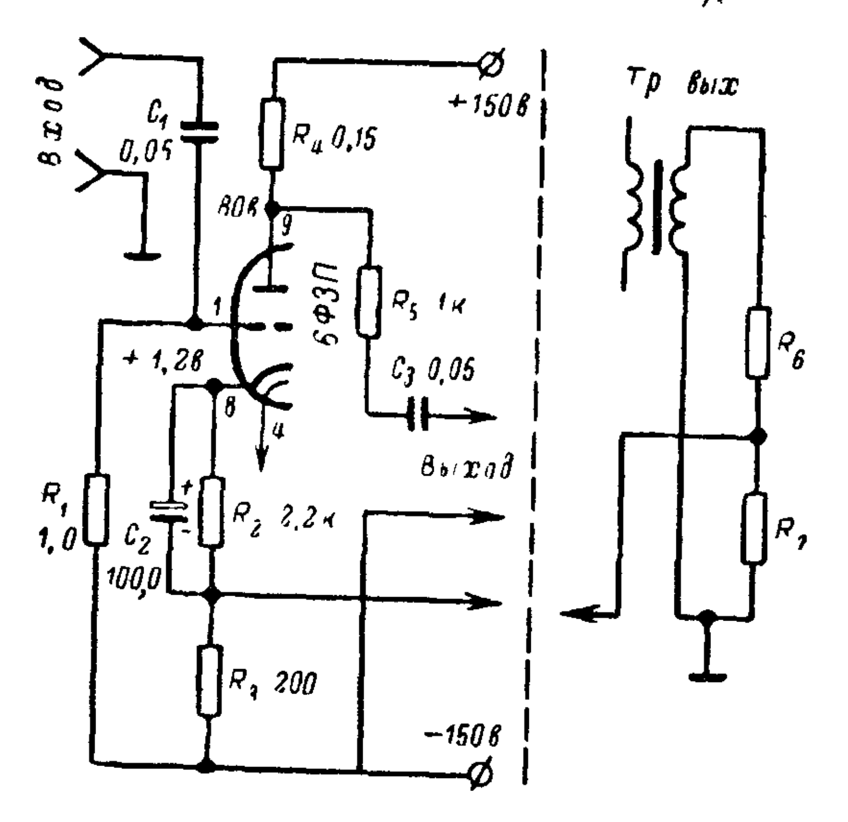


Рис. 10. Каскад предварительного усиления на триодной части лампы 6Ф3П.

В этой схеме резистор R_2 автоматического смещения заблокирован электролитическим конденсатором C_2 для предотвращения отрицательной обратной связи по току, так как в противном случае каскад не сможет дать необходимый коэффициент усиления. Резистор R_4 и конденсатор C_3 образуют цепь регулирования тембра по высшим звуковым частотам. Частотная характеристика усилителя линейна в диапазоне от 60 до 10 000 *гц*, что достаточно для усилителей, используемых обычно в малогабаритных приемниках и телевизорах.

При конструировании усилителей низкой частоты с выходной мощностью до 2,5 *вт* в качестве предварительного усилителя можно использовать и пентодную часть лампы 6Ф1П (рис. 12). Благодаря большому

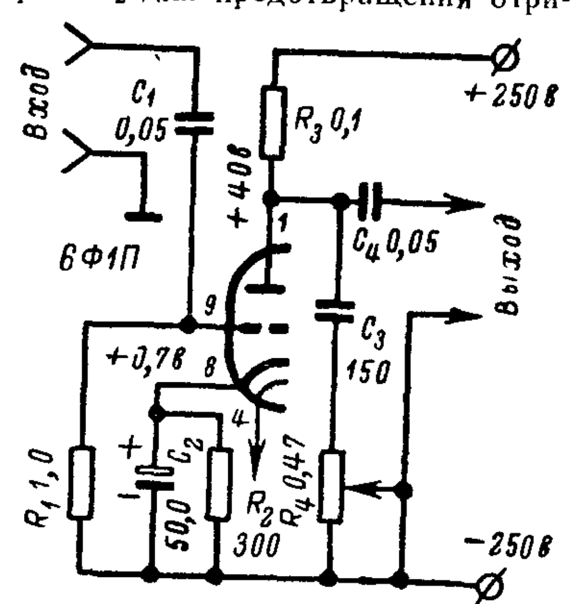


Рис. 11. Каскад предварительного усиления на триодной части лампы 6Ф1П.

коэффициенту усиления этой части лампы в каскад можно ввести регулирование тембра или тонкомпенсированное регулирование громкости при сохранении необходимой чувствительности усилителя.

В схеме предварительного усилителя (рис. 12) может быть использован и пентод 6Ж1П. При конструировании усилителя желательно предусмотреть для этой лампы отдельную обмотку накала, что позволит значительно снизить уровень фона от цепи накала. Устойчивый коэффициент усиления каскада может быть более 100.

В транзисторных предварительных усилителях хорошо работают любые транзисторы малой мощности (П13, П14, П15, П16 и др.).

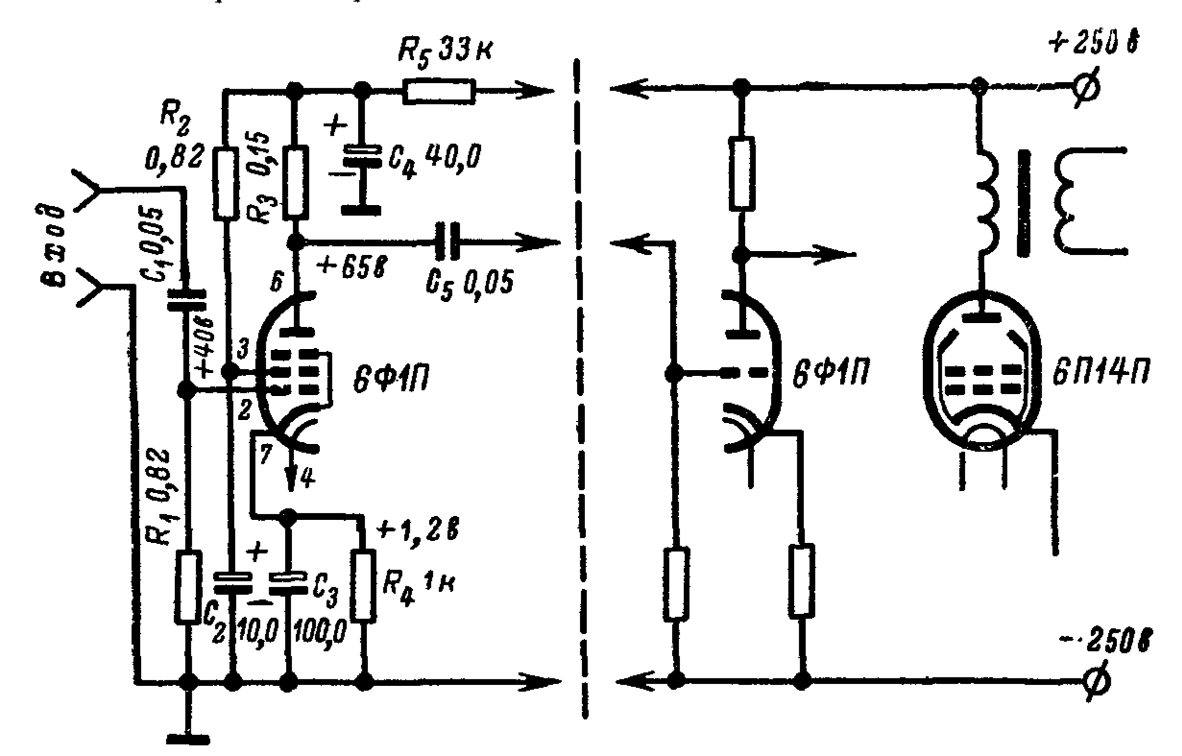


Рис. 12. Каскад предварительного усиления на пентодной части лампы 6Ф1П.

Выбор того или иного транзистора диктуется собственными шумами каскада и коэффициентом его усиления. Для входного (первого) каскада минимальный уровень собственных шумов является основным показателем. Принято считать, что из указанных транзисторов наименьшим уровнем собственных шумов обладают транзисторы П13Б. Однако в большинстве случаев уровень собственных шумов каскада скорее зависит от экземпляра транзистора и схемы его включения, чем от его принадлежности к тому или иному типу. В любом случае те экземпляры транзисторов, которые предназначаются для усилителей низкой частоты и особенно для первого каскада, желательно отобрать по минимальному уровню шумов.

Непосредственное измерение уровня собственных шумов транзистора в радиолюбительских условиях затруднительно. Поэтому можно рекомендовать отбирать их косвенным методом — по величине обратного тока коллектора. Чем меньше обратный ток коллектора выбранного транзистора, тем, как правило, будет и меньше уровень его собственных шумов.

Схема реостатного каскада предварительного усиления низкой частоты на транзисторе приведена на рис. 13, *а*. Резисторы R_1 и R_2 образуют делитель напряжения в цепи базы транзистора. Такой делитель в сочетании с резистором в цепи эмиттера, незаблокированным конденсатором, обеспечивает удовлетворительную температурную стабилизацию каскада. Если каскад используется не как входной, то можно для уменьшения коэффициента нелинейных искажений верхний по схеме вывод резистора R_1 соединить не с минусом источника питания, а с выводом коллектора транзистора. В этом случае каскад будет иметь несколько меньшее входное сопротивление. Режим рабо-

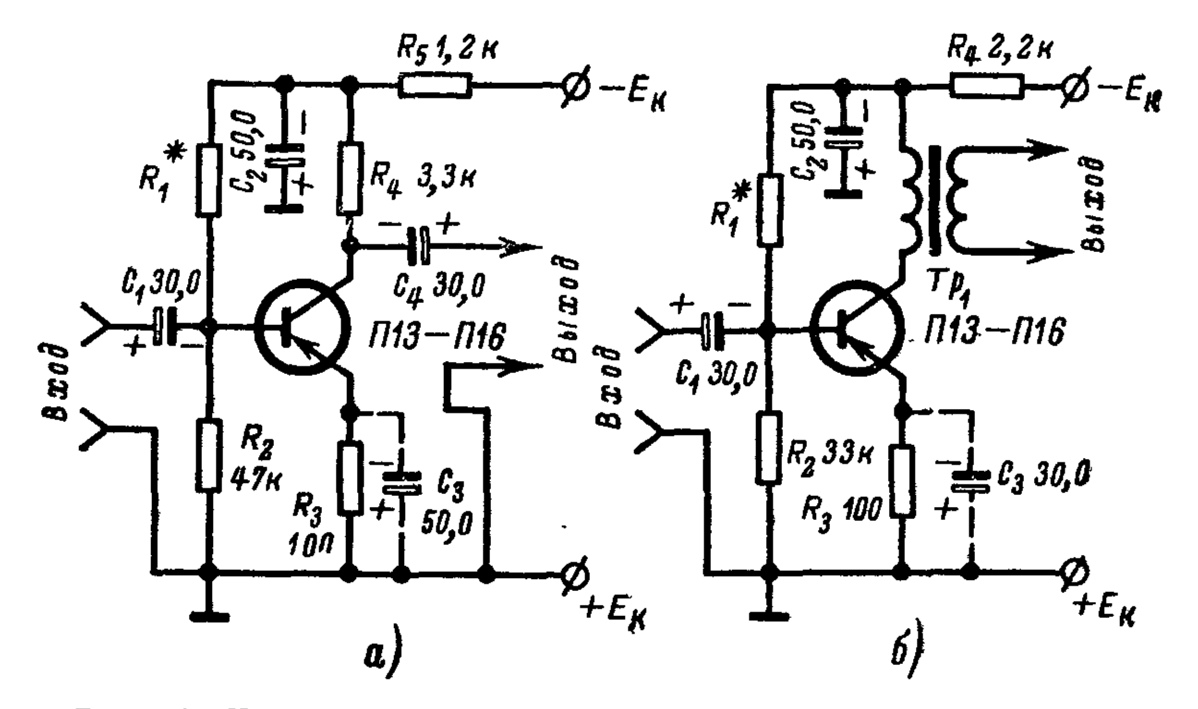


Рис. 13. Каскад предварительного усиления на транзисторе.
а — на резисторах; *б* — с согласующим трансформатором.

ты каскада подбирается путем изменения сопротивления резистора R_1 по наибольшему неискаженному напряжению на выходе. Переходные конденсаторы C_1 и C_4 должны иметь достаточно большую емкость (10—30 *мкф*.) Однако необходимо отобрать конденсаторы с минимальным током утечки и рабочим напряжением не ниже напряжения источника питания. При монтаже следует обращать внимание на их полярность. Чтобы не ошибиться в полярности включения переходных конденсаторов, можно рекомендовать следующий метод. Вначале на месте переходных конденсаторов устанавливают бумажные (например, типа МБМ) емкостью 0,1—0,5 *мкф* и регулируют усилитель на частоте 1 000 *гц*. После того, как все резисторы, определяющие режимы отдельных каскадов, будут окончательно подобраны и впаяны, при помощи лампового вольтметра определяют полярность напряжения на переходных конденсаторах и на их место впаивают электролитические конденсаторы большой емкости.

Следует отметить, что коэффициент усиления реостатного каскада по напряжению зависит от коэффициента усиления транзистора по току и лежит в пределах от 5 до 30.

Схема трансформаторного каскада предварительного усиления приведена на рис. 13, *б*. Основное отличие этой схемы от предыдущей состоит в том, что сопротивлением нагрузки каскада является пересчитанное в цепь коллектора входное сопротивление следующего каскада. Такие схемы часто применяют в транзисторных приемниках и магнитофонах для получения большого коэффициента усиления. Обычно с помощью трансформаторной схемы удается получить от каскада коэффициент передачи в пределах 100—200. Однако такой выигрыш достигается ценой значительных частотных искажений, вносимых переходным трансформатором Частотная характеристика трансформаторного каскада лежит обычно в пределах от 100 до 5 000 *гц*.

Данные переходного трансформатора зависят от схемы, назначения и конструкции усилителя и от параметров последующего каскада Поэтому здесь они не приводятся даже ориентировочно Во всех случаях такой трансформатор должен быть понижающим с коэффициентом трансформации от 1 : 5 до 1 : 20.

Микрофонный каскад

В любительских магнитофонах первый каскад усилителя всегда рассчитан не только на подключение магнитной головки, но и на подключение микрофона. Поэтому его часто называют м и к р о ф о н н ы м К такому каскаду предъявляют повышенные требования по уровню собственных шумов и отсутствию микрофонного эффекта. Эти требования и определяют специфику и особенности микрофонного каскада

Для всех микрофонных усилителей на радиолампах не должно быть наводок через цепь накала. Для этого нить накала лампы микрофонного каскада питают либо постоянным током от специального выпрямителя с хорошим фильтром, либо от отдельной обмотки трансформатора питания Для предотвращения микрофонного эффекта лампу этого каскада, особенно если используют пентод, необходимо амортизировать, т. е установить не непосредственно на шасси, а на специальной пружинной подвеске

В последнее время для микрофонного каскада разработана специальная малошумящая и не склонная к микрофонному эффекту лампа — пентод 6Ж32П

Ниже приводятся схемы различных микрофонных усилителей.

Схема микрофонного каскада на одном триоде лампы 6Н2П (рис 14, *а*) весьма распространена и широко использовалась в отечественных и зарубежных фабричных и любительских магнитофонах до появления специального пентода 6Ж32П (западноевропейский аналог *EF*-86). Автоматическое смещение на управляющую сетку лампы поступает за счет сеточного тока, что вполне допустимо для каскада, работающего при малых уровнях сигнала Автоматическое смещение в этом случае нежелательно из-за большего уровня фона по цепи накала. Для получения минимального уровня фона решающее значение имеет правильный монтаж каскада. Центральный лепесток ламповой панельки и вывод внутреннего экрана лампы (9-я ножка панельки) должны быть заземлены коротким толстым проводником в одной точке шасси вместе с заземляемым выводом резистора R_1. В ряде случаев точку заземления приходится подбирать опытным путем по минимуму фона. Ламповая панелька обязательно должна иметь экран (панель типа ПЛП-9-Э или ПЛК-9-Э). Между фланцем панельки и шасси должен быть хороший электрический контакт.

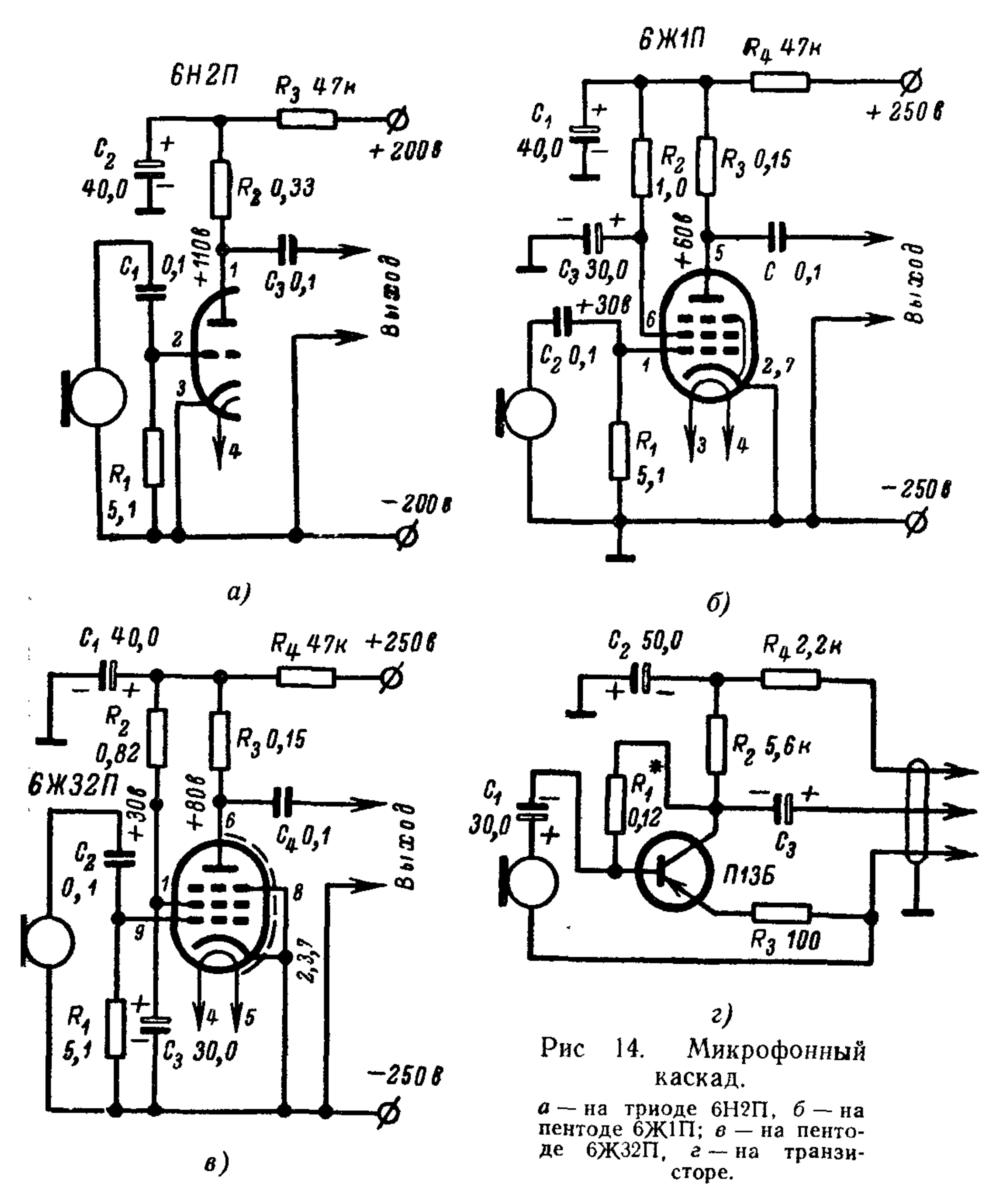


Рис 14. Микрофонный каскад.

а — на триоде 6Н2П, *б* — на пентоде 6Ж1П; *в* — на пентоде 6Ж32П, *г* — на транзисторе.

Схема другого микрофонного каскада на пентоде 6Ж1П приведена на рис. 14, *б*. В отличие от предыдущей схемы, она имеет бóльший коэффициент усиления и более чувствительна к проника免 нию фона из цепи накала. Поэтому нить накала этой лампы лучше питать постоянным током. Так как ток накала лампы 6Ж1П невелик (0,175 *а*), не представляет большого труда осуществить достаточную фильтрацию выпрямленного напряжения. Для этой цели

обычно применяют низковольтные электролитические конденсаторы емкостью 500,0—1000,0 *мкф* на рабочее напряжение 12 *в*. Если в схему фильтра включен дроссель или резистор, то для компенсации падения напряжения на нем нужно подавать с обмотки трансформатора питания соответственно большее переменное напряжение. В качестве выпрямительного элемента обычно применяют любой германиевый диод серии Д7 или селеновый столбик АВС.

Лампа 6Ж1П склонна к микрофонному эффекту, поэтому крепить ее панельку непосредственно на шасси нельзя. Несложное амортизирующее устройство легко сделать из листовой резины толщиной 1,5—2 *мм*. Кольцо, вырезанное из этой резины, должно иметь внутренний диаметр, равный диаметру нижней выступающей части ламповой панельки (18 *мм* для панелек типа ПЛП-7-Э), а наружный — от 40 до 50 *мм*. В шасси усилителя на месте, где должна находиться лампа микрофонного каскада, вырезают отверстие диаметром 30—35 *мм*. Ламповую панель с помощью ее фланца закрепляют на резиновом кольце, а само кольцо вместе с панелью концентрично накладывают на отверстие в шасси и укрепляют винтами При таком креплении ламповая панель оказывается незаземленной. Поэтому необходимо ее заземлить при помощи станиолевой ленты или тонкой латунной или свинцовой фольги. Ленту шириной 4—6 *мм* собирают гофром, один конец ее поджимают под винт, крепящий фланец ламповой панели, а другой надежно соединяют с шасси. На лампу обязательно должен быть надет статический экран. Желательно выбрать лампу для микрофонного каскада из нескольких экземпляров по минимальному уровню фона.

Схема каскада на лампе 6Ж32П показана на рис. 14, *в*. Назначение всех деталей такое же, что и на предыдущей схеме Если выходная мощность усилителя при контроле записи и механические вибрации магнитофона велики, тогда целесообразно панельку лампы амортизировать способом, рекомендованным выше. Если лампа используется и при воспроизведении, амортизировать ее необходимо в любых случаях Если есть возможность, то лучше отобрать экземпляр лампы с минимальным уровнем фона и собственных шумов.

В любительских магнитофонах целесообразно сделать раздельные усилители записи и воспроизведения. Особенно оправдано это для магнитофонов на транзисторах. В этом случае микрофонный каскад усилителя записи может быть вынесен в корпус микрофона, что значительно снизит уровень фона и расширит полосу пропускания усилителя в области высших частот благодаря исключению емкости кабеля между микрофоном и входным каскадом усилителя.

Схема такого каскада приведена на рис 14, *г*. Транзистор для снижения уровня собственных шумов питается пониженным напряжением (3—4,5 *в*). Сопротивление резистора в цепи базы зависит от типа микрофона, наличия или отсутствия микрофонного трансформатора, типа транзистора и подбирается при регулировке каскада по отсутствию нелинейных искажений. Для микрофонного каскада необходимо подобрать транзистор с минимальным уровнем собственных шумов.

Собственные шумы усилителя

Любой усилительный каскад вносит в усиливаемый сигнал искажения Часть этих искажений зависит от нелинейности характеристики лампы или транзистора и самой схемы. Однако, помимо этих

искажений, в спектре усиливаемого сигнала могут появиться составляющие паразитного напряжения, причиной появления которых могут быть наводки со стороны цепи накала, недостаточная фильтрация и «развязка» цепи анодного (коллекторного) питания, микрофонный эффект и магнитные наводки на баллон лампы и монтаж усилителя. Рассмотрим влияние каждой из этих причин и способы борьбы с ними.

Влияние цепи накала рассмотрим на схеме усилительного каскада (рис. 15, *а*) с резистором автоматического смещения в цепи катода и питанием нити накала переменным током. У любой лампы

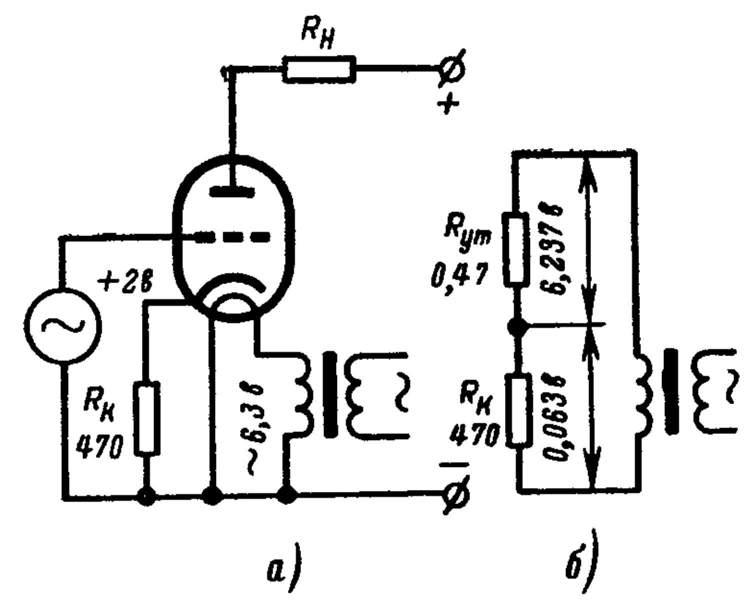


Рис 15 Возникновение фона переменного тока во входном каскаде

а — схема каскада, *б* — эквивалентная схема.

между нитью накала и катодом всегда имеется какое-то сопротивление, которое колеблется от сотен килоом до нескольких мегом. Пусть в нашем случае это сопротивление равно 470 *ком* (на рис. 15, *б* показана эквивалентная схема цепи накал — катод, где это сопротивление обозначено через $R_{ут}$). Легко увидеть, что благодаря имеющемуся положительному потенциалу на катоде лампы по отношению к шасси (напряжение автоматического смещения) участок накал — катод лампы можно рассматривать как проводящий диод с внутренним сопротивлением, равным $R_{ут}$. Благодаря этому в цепи обмотка накала — промежуток накал — катод — сопротивление автоматического смещения — обмотка накала потечет ток, и напряжение накала (6,3 *в*) окажется поделенным на сопротивлениях $R_{ут}$ и $R_к$ в отношении 100 : 1. Иначе говоря, к сопротивлению автоматического смещения окажется приложенным паразитное переменное напряжение 6,3 : 100 = 0,063 *в*. Это напряжение, будучи введенным последовательно в анодную цепь триода, усилится всеми последующими каскадами и создаст на выходе усилителя заметное напряжение фона. Если учесть, что напряжение полезного сигнала на входе каскада не превышает 0,2 *в*, то окажется, что полезный сигнал всего лишь втрое превышает напряжение фона, а при меньшем сопро-

тивлении катод — накал напряжение фона может даже оказаться больше полезного сигнала Для микрофонного каскада, где уровень полезного сигнала составляет от 5 до 10 *мв*, фон из цепи накала будет превышать полезный сигнал даже в том идеальном случае, когда сопротивление накал — катод составляет десятки мегом.

Чтобы устранить проникание фона из цепи накала, достаточно нарушить проводимость паразитного диода накал — катод. Это можно сделать, подав на нить накала положительный потенциал, превышающий напряжение автоматического смещения Одна из таких схем приведена на рис. 16 Здесь цепь накала лампы не соединена с шасси Положительный потенциал на нить накала подается от делителя напряжения через специальный балансировочный потенциометр $R_б$, с помощью которого при регулировке усилителя добиваются минимального уровня фона. Для микрофонного каскада эта мера иногда оказывается недостаточной. Тогда нить накала лампы нужно питать постоянным током

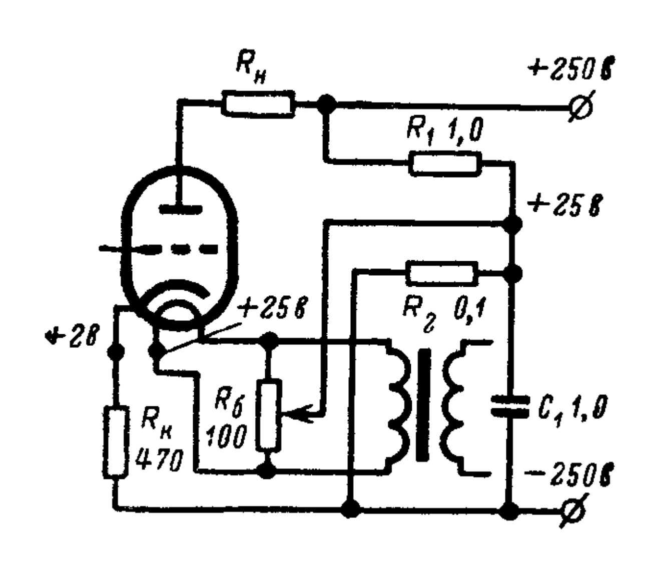


Рис 16 Схема каскада с компенсацией фона.

В усилителе, оконечный каскад которого работает с автоматическим смещением и сопротивление смещения заблокировано конденсатором большой емкости, можно использовать положительный потенциал на катоде оконечной лампы вместо устройства специального делителя напряжения В этом случае обмотку накала первой лампы соединяют через балансировочное сопротивление с катодом оконечной лампы.

Цепь анодного питания также может служить источником возникновения фона (при недостаточной фильтрации напряжения в выпрямителе) и положительной обратной связи между каскадами, приводящей к самовозбуждению усилителя на звуковой или ультразвуковой частоте Для борьбы с этими явлениями есть только один способ — надежная «развязка» анодной цепи каждого каскада В многокаскадных усилителях нужно каждый каскад питать через свой *RC*-фильтр, при этом по мере приближения от выхода схемы к ее входу каждый каскад получает дополнительную развязку, чем исключается взаимосвязь каскадов.

В качестве конденсаторов развязывающих фильтров применяют электролитические конденсаторы большой емкости (40—150 *мкф*) на полное анодное напряжение усилителя (250—350 *в*). Сопротивления резисторов фильтрующих ячеек выбирают порядка 5—50 *ком* с постепенным увеличением от последнего каскада к первому

Микрофонный эффект часто появляется у ламп с большим коэффициентом усиления (обычно у пентодов), работающих в первых каскадах усилителей. Это явление вызывается механической вибрацией электродов лампы, особенно ее управляющей сетки, и приводит к возникновению переменной составляющей анодного тока лампы с частотой механической вибрации, соизмеримой с полезной составляющей анодного тока Проявляется микрофонный эффект в том, что передача речи или музыки сопровождается характерным «звоном». В отдельных случаях, при наличии акустической или механической связи первого каскада и громкоговорителя, микрофонный эффект приводит к возникновению устойчивой генерации усилителя на звуковой частоте

Для борьбы с микрофонным эффектом лампу первого каскада закрепляют на шасси с помощью мягкой пружинной подвески, демпфирующей ее колебания, или надевают на баллон лампы массивный свинцовый колпак, увеличивающий инерцию лампы и делающий ее нечувствительной к колебаниям высоких звуковых частот Кроме того, уменьшают механические вибрации шасси усилителя, для чего громкоговоритель или электродвигатель магнитофона прикрепляют к шасси через резиновые или фетровые прокладки Помимо того, целесообразно отобрать для первого каскада лампу с минимальным микрофонным эффектом, так как отдельные экземпляры более или менее склонны к нему.

Магнитные и электрические наводки создаются соответствующими полями, всегда имеющимися в любом радиоаппарате Влияние их можно свести к минимуму рациональным монтажом и специальными мерами

Магнитные наводки от трансформатора питания можно свести к минимуму в месте их возникновения Для этого трансформатор питания нужно поместить в стальной кожух или отделить его стальной пластиной от усилителя низкой частоты. Следует учесть, что наименьшие поля рассеяния имеют трансформаторы на ленточных сердечниках (круглых или овальных). Поэтому, если трансформатор самодельный, его желательно сделать именно на таких сердечниках.

Для уменьшения магнитной связи между трансформатором питания и выходным трансформатором надо по возможности разнести их подальше друг от друга и расположить так, чтобы их магнитопроводы были взаимно перпендикулярны. По этой же причине лампу первого каскада нельзя располагать вблизи трансформатора питания.

Все изложенное относится и к электродвигателю магнитофона, если он питается от сети переменного тока. Его необходимо также экранировать от монтажа и ламп усилителя стальным щитком

Статические наводки появляются от электростатического поля звуковой частоты, источником которого являются лампа оконечного каскада и выходной трансформатор Это поле может создать паразитную обратную связь, приводящую к самовозбуждению усилителя как на звуковой, так и на ультразвуковой частотах Для предотвращения этого провод, идущий от анода лампы оконечного каскада к выходному трансформатору, надо сделать предельно коротким и поместить в экранирующую оплетку. Выходной трансформатор нужно поместить в алюминиевый или железный экран либо расположить его на боковой стенке шасси усилителя

Взаимные наводки в монтаже возникают между проводами различных цепей Наиболее опасны паразитные связи сеточных и анодных цепей различных каскадов, приводящих либо к потере усиления и частотным искажениям, либо к самовозбуждению усилителя. Поэтому при монтаже необходимо максимально удалять провода

я детали анодных цепей от сеточных. Длинные провода сеточных цепей, идущие к регуляторам громкости и тембра и к любым переключателям, необходимо помещать в экранирующую оплетку. Чтобы избежать наводок от проводов накала и сети, их лучше всего свить попарно и также поместить в экранирующую оплетку либо проложить эти провода сверху шасси.

Входные цепи и схемы регулирования громкости

К входным цепям усилителя условно относят ту часть схемы, которая находится между источником низкочастотного сигнала (звукосниматель, детектор приемника, воспроизводящая головка магнитофона и т. п.) и управляющей сеткой лампы первого каскада. От качества выполнения монтажа входных цепей зависит общий уровень фона усилителя. Поэтому необходимо знать и выполнять правила монтажа этих цепей.

При монтаже сеточной цепи первой лампы нельзя использовать шасси усилителя в качестве «минусового» провода. Это значит, что нулевой вывод входного гнезда нельзя «заземлять» непосредственно у места его расположения. Оба входных гнезда усилителя должны быть соединены с первой лампой двумя изолированными проводами, помещенными в экранирующую оплетку, которая также должна быть изолирована от шасси. «Заземлять» входной нулевой провод и оплетку нужно лишь в одной точке около панельки лампы первого каскада, и именно в той точке, где «заземляются» нулевые выводы резисторов автоматического смещения и утечки управляющей сетки первой лампы.

При необходимости коммутировать входную цепь усилителя (например, в радиокомбайне) нужно весь переключатель заключить в экран и надежно его «заземлить». Все токонесущие провода от каждого источника низкочастотного сигнала и провод от управляющей сетки лампы усилителя (или регулятора громкости) нужно выполнять экранированными, при этом экранирующие оплетки всех цепей должны быть изолированы от шасси хлорвиниловой трубкой или изоляционной лентой. Оплетки этих проводов не должны касаться и «заземленного» экрана переключателя. Их нужно соединить между собой внутри экрана переключателя и отдельным изолированным проводом соединить с точкой «заземления» резистора автоматического смещения и резистора утечки управляющей сетки лампы первого каскада усилителя.

Во входные цепи в большинстве случаев входит и регулятор громкости. Существуют разные схемы регуляторов, начиная от простейших, содержащих всего одну деталь — потенциометр, до сложных, состоящих из 10—15 деталей. Рассмотрим несколько схем регулирования громкости.

Обычная (некомпенсированная) схема регулятора громкости приведена на рис. 17, *а*. Напряжение от источника низкочастотных сигналов подводится через конденсатор C_1 к регулятору громкости $R_{гр}$. Сигнал снимается с движка регулятора и через второй конденсатор C_2 подается на управляющую сетку входной лампы усилителя. Конденсатор C_1 нужен для того, чтобы вместе с низкочастотным сигналом на регулятор громкости не попало постоянное напряжение, имеющееся на выходе детектора приемника, телевизора и т. п. Второй конденсатор нужен для предотвращения шорохов

и тресков, которые могут появиться при вращении регулятора, если управляющая сетка лампы соединена непосредственно с его движком. Однако при этом возникает необходимость ввести в схему и дополнительный резистор в цепь сетки, показанный на рисунке штриховой линией. Его сопротивление может быть выбрано в пределах от 0,5 до 1,5 *Мом*.

Эта схема при всей ее простоте позволяет хорошо регулировать громкость, но имеет один существенный недостаток, связанный с особенностью восприятия звука. Слуховой аппарат человека имеет частотную характеристику, зависящую от интенсивности звуков. Если при некоторой средней мощности воспроизвести гармонические звуковые колебания всех частот (от 30 *гц* до 15 000 *гц*) так, чтобы человек воспринимал их с некоторой одинаковой громкостью, а затем вновь воспроизвести эти же звуки с уменьшенной в 3—4 раза мощностью, то, хотя каждый из звуков будет иметь одинаковую интенсивность, слушателю будет казаться, что громкость звуков на частотах 800—2 000 *гц* почти не изменилась, а на частотах 30—60 и 8 000—12 000 *гц* громкость уменьшилась в десятки раз. Если же уменьшить мощность всех звуков еще в одинаковое число раз, то низшие и высшие частоты вообще перестанут быть слышны, а средние частоты звукового диапазона будут слышны достаточно громко. Иными словами, при уменьшении громкости воспроизводимых усилителем звуков слушатель будет замечать частотные искажения в передаче, хотя весь усилительный и акустический тракт искажения в передачу не вносят.

Для борьбы с этим явлением в схему регулятора громкости вводят специальные дополнительные элементы, которые изменяют частотную характеристику усилителя так, чтобы уменьшение громкости воспринималось слушателем одинаково на всех частотах. Легко видеть, что для этого одновременно с уменьшением громкости нужно увеличивать относительное усиление на крайних частотах звукового диапазона по отношению к средним.

Приведенная ранее схема регулятора не имеет устройства для компенсации частотных искажений, поэтому она может применяться только в простых маломощных усилителях.

Схема с тонкомпенсацией, приведенная на рис. 17, *б*, работает так. Когда движок регулятора громкости $R_{гр}$ находится в верхнем (по схеме) положении, весь сигнал со входа подводится к управляющей сетке лампы полностью (сопротивлением конденсаторов C_1 и C_2 можно пренебречь даже для самых низких частот диапазона из-за их большой емкости). Если уменьшить громкость настолько, чтобы движок регулятора оказался против первого отвода, то прохождение сигнала изменится. Сигналы самых низких частот диапазона (30—60 *гц*), для которых реактивное сопротивление конденсатора C_3 достаточно велико, попадут на сетку лампы без ослабления. Сигналы же более высоких частот частично замкнутся через этот конденсатор, и на управляющей сетке лампы их будет заметно меньше, а на самых высоких частотах (500—10 000 *гц*) они будут совсем незначительны. Таким образом, при уменьшении громкости с помощью тонкомпенсированного регулятора сигналы высших и средних звуковых частот уменьшаются гораздо быстрее, чем сигналы низших частот.

Когда движок регулятора оказывается еще ниже, против второго отвода, вступает в действие следующее звено тонкомпенсации.

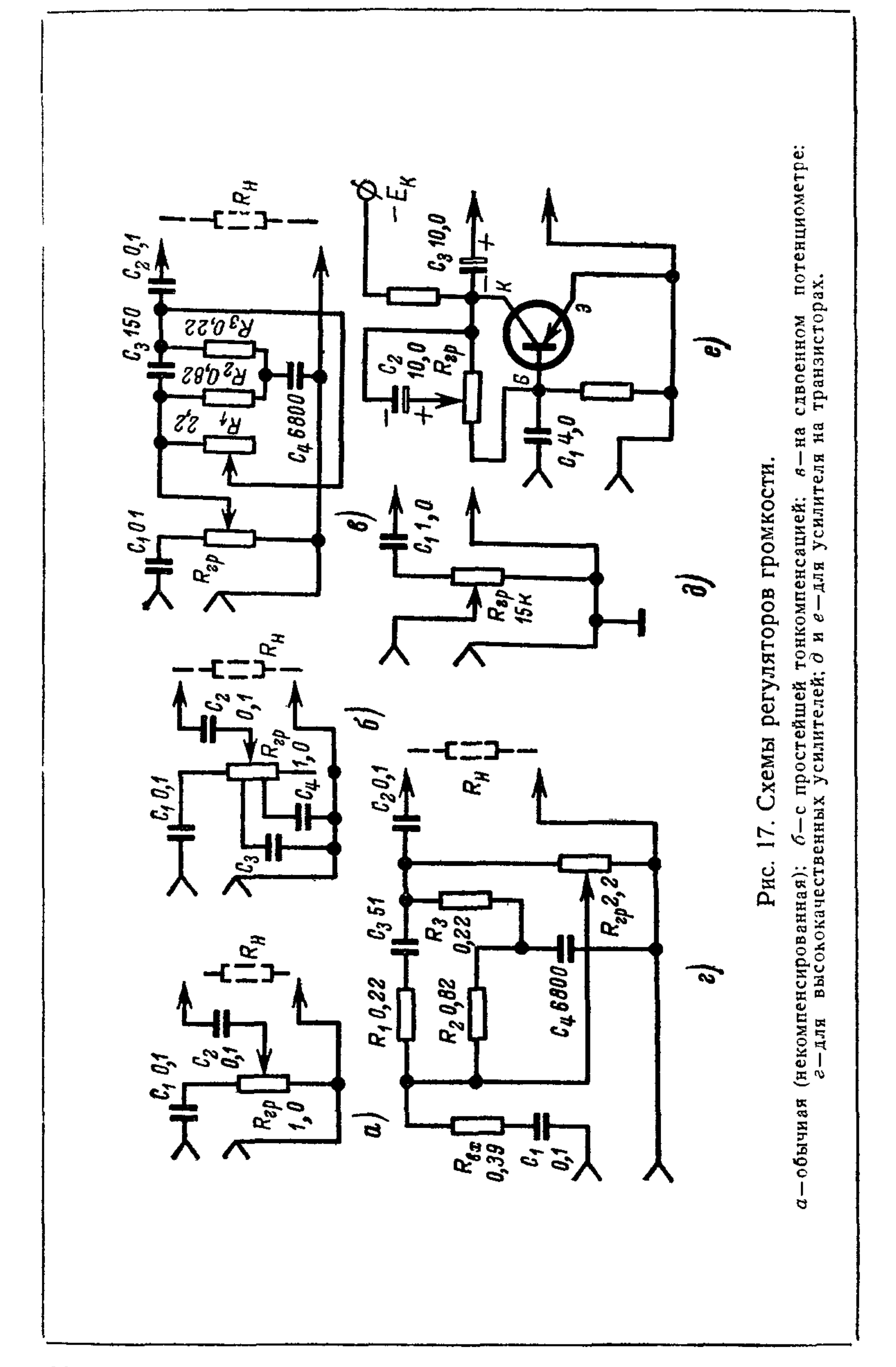


Рис. 17. Схемы регуляторов громкости.

а—обычная (некомпенсированная); *б*—с простейшей тонкомпенсацией; *в*—на сдвоенном потенциометре; *г*—для высококачественных усилителей; *д* и *е*—для усилителя на транзисторах.

В результате при дальнейшем уменьшении громкости частотная характеристика усилителя будет изменяться еще более резко

Такая схема позволяет корректировать частотную характеристику только в области низших частот, да и то лишь весьма приблизительно. Следует отметить, что потенциометры с отводами производятся, как правило, заводами, выпускающими радиоприемники. Они обычно бывают рассчитаны на вполне конкретную схему. Встречаются потенциометры с одним, двумя или тремя отводами. Емкости конденсаторов между отводами потенциометра и «землей» обычно подбирают опытным путем.

Хорошую компенсацию частотных искажений при уменьшении громкости позволяет осуществить регулятор, схема которого изображена на рис. 17, *в*. Резисторы R_2 и R_3 и конденсатор C_4 образуют Т-образный фильтр, на выходе которого сигнал линейно уменьшается с ростом частоты. Конденсатор C_3 замыкает этот фильтр, но так как емкость его незначительна, он не влияет на работу фильтра на низших частотах (до 600—800 *гц*). Зато на высших частотах сопротивление конденсатора C_3 уменьшается, и для частот 6 000—12 000 *гц* он представляет собой практически короткое замыкание. В результате сигнал на выходе фильтра сначала линейно уменьшается при увеличении частоты от 30—40 до 800—1 500 *гц*, а затем вновь начинает возрастать при дальнейшем увеличении частоты Путем соответствующего подбора элементов фильтра можно добиться, чтобы его характеристика соответствовала так называемым «кривым равной громкости» нормального слуха на самых малых уровнях громкости.

Если такой фильтр включить в схему регулятора громкости так, как показано на рис. 17, *в*, то в верхнем (по схеме) положении движков резисторов $R_{гр}$ и R_1, соответствующем наибольшей громкости, фильтр окажется замкнут накоротко резистором R_1 и поэтому не будет влиять на частотную характеристику усилителя. По мере уменьшения громкости шунтирующее действие резистора R_1 уменьшается, фильтр включается в цепь прохождения сигнала и частотная характеристика усилителя изменяется в соответствии с кривыми равной громкости. Эта схема позволяет получить хорошую тонкомпенсацию частотных искажений при регулировании громкости и может быть рекомендована радиолюбителям. Единственный ее недостаток — необходимость применять сдвоенный резистор ($R_{гр}$, R_1).

На рис. 17, *г* приведена аналогичная схема регулятора громкости, разработанная автором, но не требующая сдвоенного резистора. В этой схеме потенциометр включен так, что сигнал на управляющую сетку лампы снимается не с движка регулятора, а со всего резистора $R_{гр}$. В результате выходное сопротивление фильтра не меняется с уменьшением громкости, что позволяет сохранить необходимую форму частотной характеристики при любой громкости. Из схемы видно, что в крайнем верхнем положении движка регулятора, соответствующем максимальной громкости, фильтр замкнут накоротко, а по мере уменьшения громкости он включается в цепь прохождения сигнала. При указанных на схеме номиналах деталей регулятор обеспечивает почти идеальную тонкомпенсацию, соответствующую кривым равной громкости.

Следует предупредить, что для уменьшения уровня фона и возможных наводок все детали тонкомпенсированного регулятора

громкости нужно монтировать на отдельной изоляционной планке и поместить в экран с соблюдением правил монтажа входных цепей, изложенных ранее

Схема регулятора громкости для транзисторных усилителей приведена на рис 17, *д*. Здесь в отличие от обычной некомпенсированной схемы сигнал подводится к движку потенциометра, а цепь базы первого транзистора усилителя подключена к крайним выводам потенциометра. Это вызвано необходимостью иметь входное сопротивление усилителя, почти не зависящее от положения движка регулятора громкости

Нередко применяют и схему, в которой громкость регулируется путем изменения отрицательной обратной связи по напряжению в первом каскаде усилителя. Такая схема приведена на рис. 17, *в*. Схему на рис 17, *д* можно применять во всех случаях, а схему на рис 17, *е* — только при условии, что конденсатор между коллектором транзистора и регулятором громкости будет иметь достаточную емкость.

В транзисторных усилителях также могут быть применены схемы, приведенные выше Однако из-за весьма низких сопротивлений транзисторных схем все номиналы деталей, входящих в тонкомпенсирующие фильтры, должны быть изменены и подобраны опытным путем. При этом стабильность формы частотной характеристики не удастся получить такой же, как для ламповых схем.

Схемы регулирования тембра

Любое регулирование тембра в усилителе представляет собой изменение его частотной характеристики. Установлено, что для более естественного воспроизведения передач с различным частотным содержанием необходимо соответственно изменять и частотную характеристику усилителя. Так, при речевых передачах диапазон воспроизводимых звуковых частот желательно ограничить с нижней стороны частотой 100—200 *гц*, а на частоте 4 000—6 000 *гц* создать небольшой подъем частотной характеристики. При передаче симфонической музыки частотная характеристика должна быть почти линейной во всей полосе пропускания, а при воспроизведении джазовой и эстрадной музыки необходимо подчеркивать низшие (30—80 *гц*) и крайне высшие (8 000—12 000 *гц*) звуковые частоты

Для произвольного изменения частотной характеристики в простые усилители низкой частоты вводят один или два, а в более сложные усилители — несколько регуляторов тембра, каждый из которых регулирует характеристику в определенном интервале частот.

Простейшие схемы регуляторов тембра обычно ограничивают характеристику усилителя по высшим звуковым частотам (выше 5 000 *гц*). При этом им можно только ослаблять («заваливать») усиление на высших частотах по отношению к условной середине частотного диапазона (частота 1 000 *гц*). Схемы таких регуляторов приведены на рис. 18.

Две из этих схем (рис. 18, *а* и *б*) построены по принципу шунтирования сопротивления нагрузки каскада реактивным сопротивлением конденсатора, а две другие (рис. 18, *в* и *г*) регулируют частотную характеристику путем изменения напряжения отрицательной обратной связи. Последние две схемы предпочтительней пер-

вых, так как одновременно с регулированием тембра уменьшаются нелинейные искажения усилителя

На рис. 19, *а* приведена схема включения регуляторов тембра, с помощью которой можно ослаблять усиление раздельно на высших и низших звуковых частотах Однако в большинстве случаев применяют регуляторы тембра, позволяющие раздельно регулировать частотную характеристику как на высших, так и на низших частотах полосы пропускания, причем оба эти регулятора должны

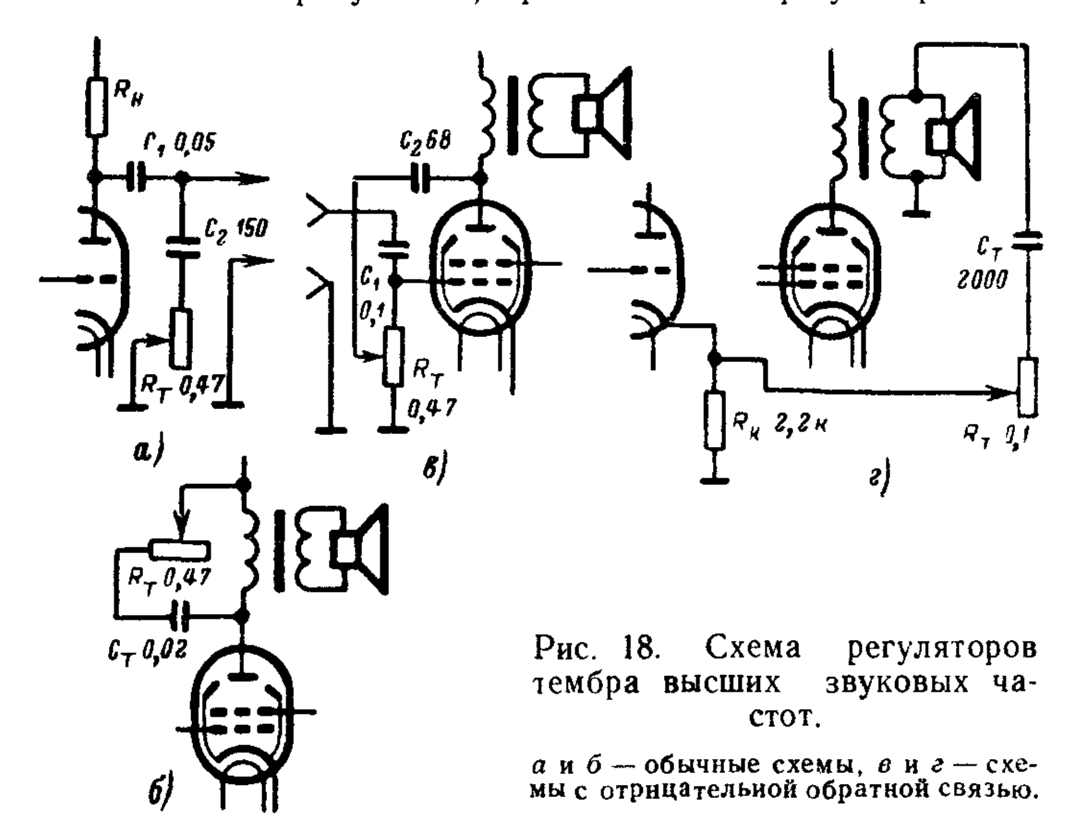


Рис. 18. Схема регуляторов тембра высших звуковых частот.

а и *б* — обычные схемы, *в* и *г* — схемы с отрицательной обратной связью.

обеспечивать как завал, так и подъем характеристики на крайних частотах по отношению к условной средней частоте (1 000 *гц*) в определенное число раз.

Наиболее распространенная схема, построенная на принципе использования шунтирующего действия реактивных сопротивлений конденсаторов, приведена на рис. 19, *б*. При соответствующем выборе сопротивлений резисторов и емкостей конденсаторов схема может дать глубину регулировки тембра до 20 *дб*. К недостаткам схемы следует отнести низкий коэффициент передачи, лежащий, как правило, в пределах от 0,05 до 0,15. Это влечет за собой необходимость дополнительного 10—20-кратного усиления, для чего в схему приходится вводить дополнительный каскад усиления. В то же время эта схема позволяет получить высокую стабильность формы частотной характеристики и полную независимость регулировок, благодаря чему она нашла широкое распространение в вещательной аппаратуре и может быть рекомендована радиолюбителям как основная для любых усилителей.

Для регулирования тембра можно использовать отрицательную и положительную обратную связи В этом случае регуляторы включают по схеме, показанной на рис. 20. В этой схеме, разработанной

автором, имеются четыре отдельных регулятора тембра. Первый из них (R_{22}) регулирует частотную характеристику в диапазоне от 20 до 100 *гц*, второй (R_{13}) — от 100 до 1 000 *гц*, третий (R_{17}) — от 1 000 до 7 000 *гц* и четвертый (R_{20}) — от 7 000 до 16 000 *гц*. Действие всех регуляторов независимое. Взаимное влияние двух смежных

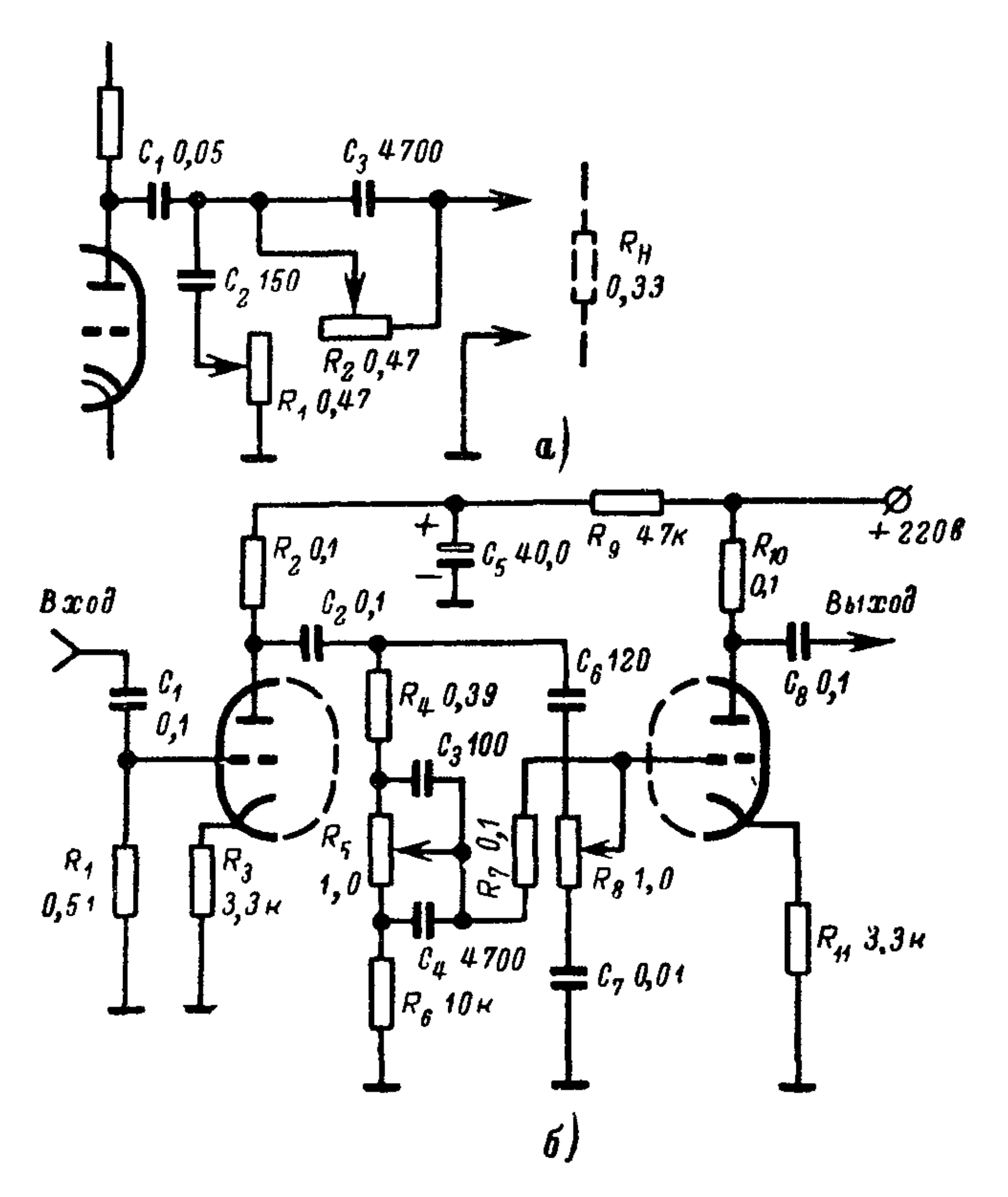


Рис. 19. Регуляторы тембра высших и низших звуковых частот.

а — простая схема, *б* — типовая схема.

регуляторов на частоте раздела не превышает 2 *дб*. В среднем положении всех регуляторов частотная характеристика усилителя получается прямолинейной в интервале от 20 до 20 000 *гц* с неравномерностью ±1 *дб*. Первый и четвертый регуляторы позволяют менять уровень сигнала на ±10 *дб*, второй и третий — на ±6 *дб*.

Эта схема приведена как образец использования отрицательной и положительной обратной связи для регулирования тембра. Радиолюбителей, желающих повторить эту схему, следует предупредить, что она весьма критична в налаживании, а из-за имеющейся в ней

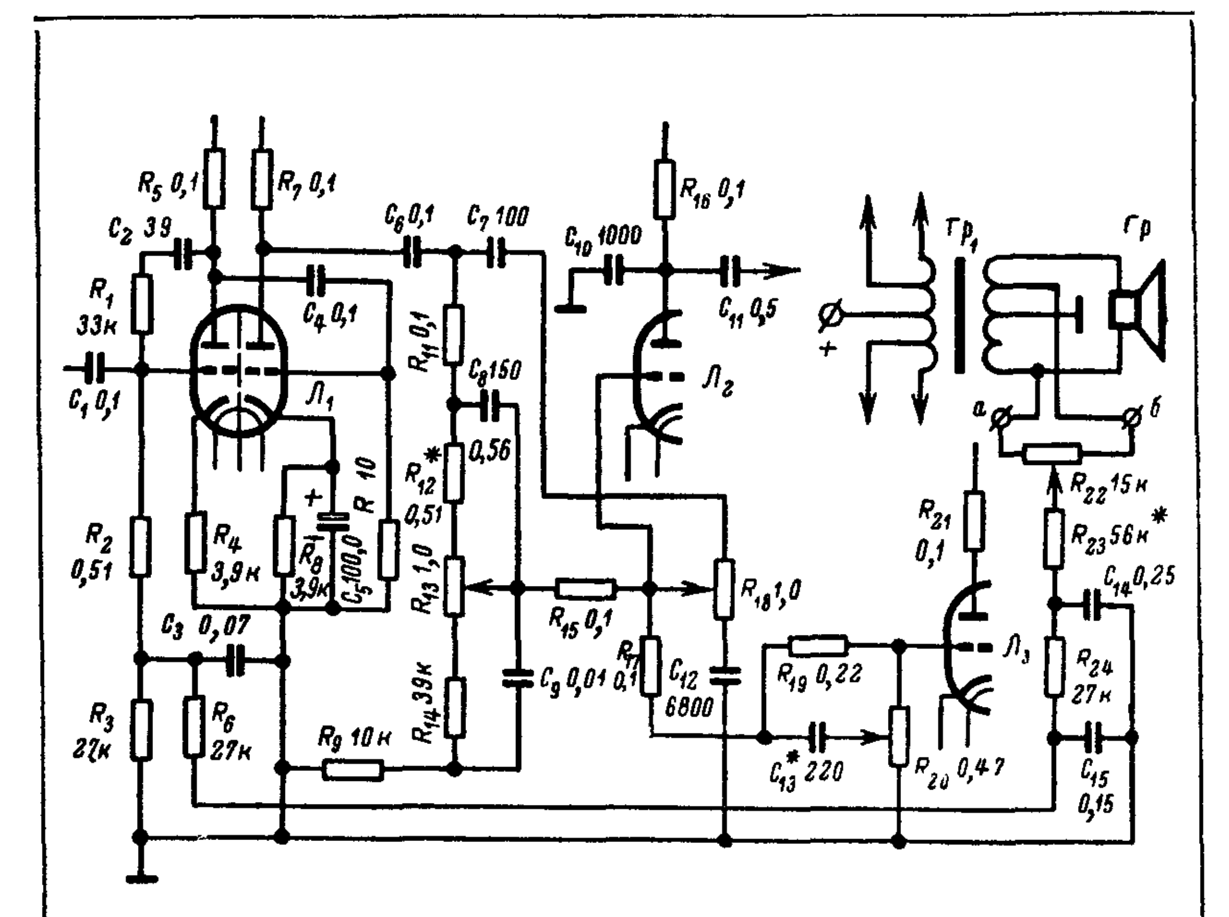


Рис. 20. Схема раздельных регуляторов тембра для высококачественного усилителя.

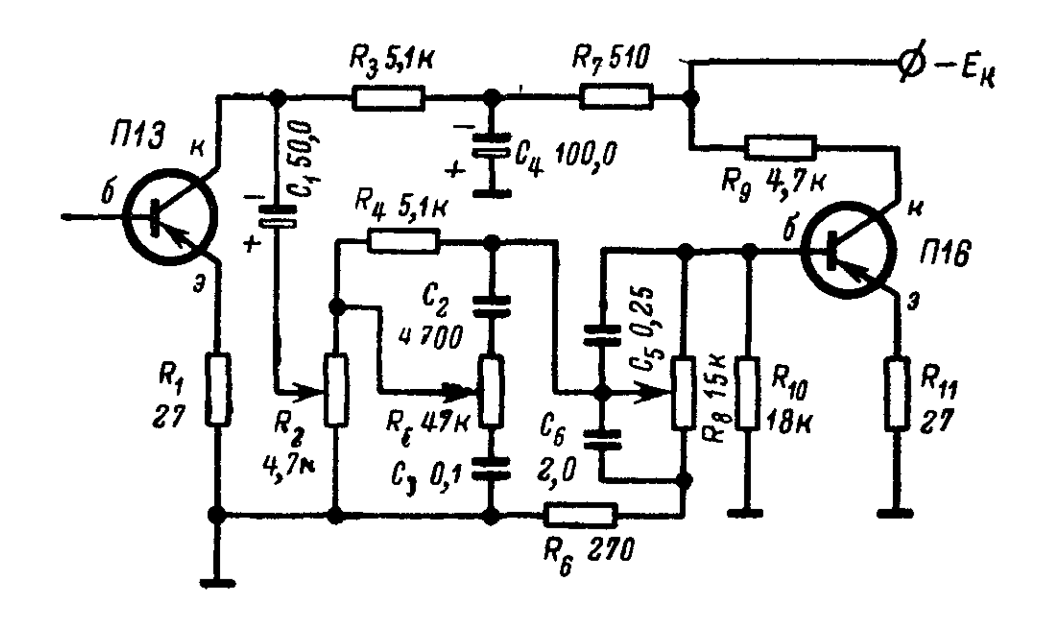


Рис. 21. Схема регуляторов тембра для усилителя на транзисторах.

положительной обратной связи и при отсутствии специальных стабилизирующих мер склонна к самовозбуждению. Для налаживания этой схемы требуются звуковой генератор, осциллограф с приставкой, позволяющей наблюдать фазу сигнала, и электронные милливольтметры. Все это делает применение ее оправданной лишь для сложных высококачественных усилителей, и схема может быть рекомендована только опытным радиолюбителям.

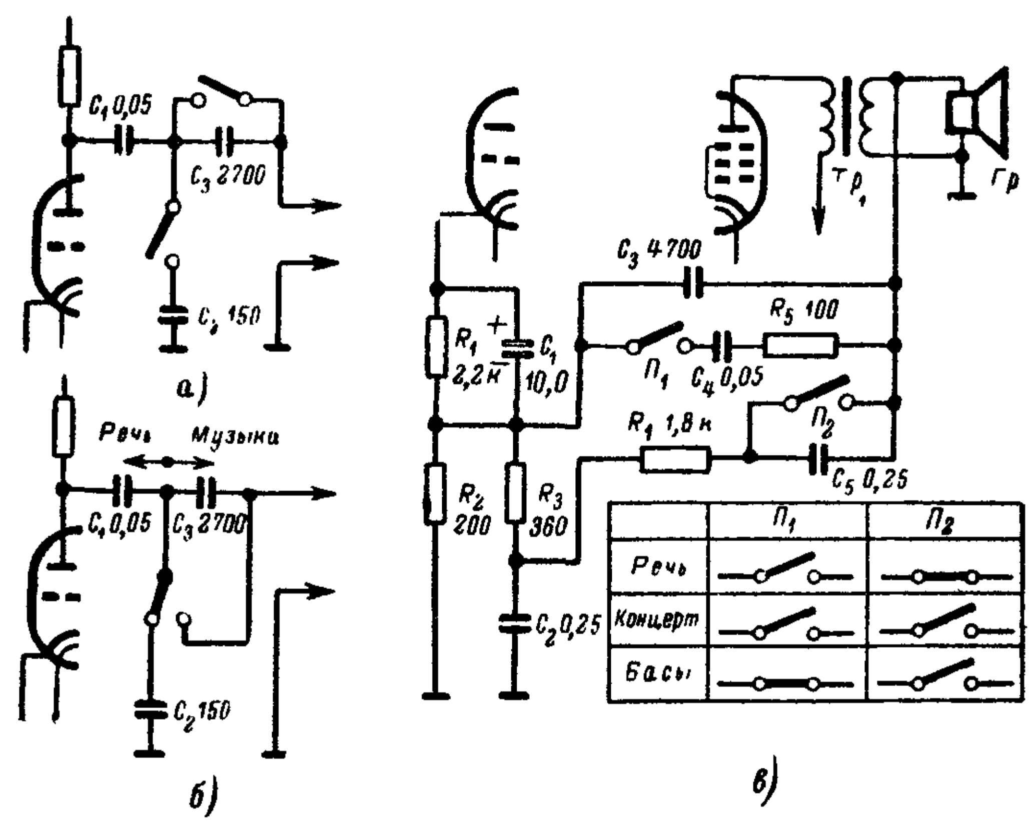


Рис. 22. Переключатели тембра.

а и *б* — для простых усилителей, *в* — для широкополосных усилителей.

В усилителях на транзисторах значительно труднее, чем в ламповых, получить независимость регулировок. Объясняется это тем, что из-за низких сопротивлений транзисторов емкости конденсаторов приходится брать весьма большими, а сопротивления резисторов — незначительными. В результате регулирование получается расплывчатым и приводит к некоторому взаимному перекрытию обоих регуляторов тембра на условной средней частоте диапазона. Одна из возможных схем включения раздельных регуляторов тембра высших и низших звуковых частот показана на рис. 21.

Поскольку к простым усилителям низкой частоты не предъявляют требований высококачественного воспроизведения звука, в них для удобства пользования применяют не плавное регулирование тембра, а скачкообразное. В этом случае в усилитель вводят переключатель, позволяющий при его помощи формировать две-три заранее выбранные частотные характеристики, соответствующие типовому содержанию передач. При двух положениях переключателя характеристики обычно соответствуют передачам речи и музыки, при трех положениях — передачам речи, симфонической и джазовой музыки.

На рис. 22 приведены три схемы подобных переключателей тембра. Схемы на рис. 22, *а* и *б* позволяют только ослаблять усиление на отдельных участках частотной характеристики, а схема на рис. 22, *в* — как усиливать, так и ослаблять сигнал на границах частотной характеристики. Указанные на рис. 22 номиналы деталей выбраны применительно к некоторым конкретным схемам на определенных лампах. При повторении их, возможно, придется в небольших пределах изменить номиналы отдельных деталей, чтобы получить в своих схемах необходимую глубину регулировки или изменить граничные частоты действия регуляторов тембра.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Основные соображения при выборе акустических систем

Как бы ни был хорош усилитель низкой частоты, но если он будет нагружен на акустическую систему плохого качества, то и воспроизведение звука будет плохое. В свою очередь качество работы акустической системы будет зависеть от четырех факторов: соответствия типов и количества выбранных громкоговорителей требованиям, предъявляемым к низкочастотному устройству, качества имеющихся громкоговорителей, конструкции акустического агрегата и тщательности его изготовления и сборки. Каждый из этих факторов может оказаться решающим для получения ожидаемых результатов и поэтому к каждому из них нужно отнестись со всей серьезностью. Рассмотрим каждый из этих факторов в отдельности.

Требования, предъявляемые к усилителю и определяющие его параметры, по существу представляют собой требования и к громкоговорителю. Полоса воспроизводимых громкоговорителем звуковых частот должна быть шире, или, во всяком случае, не у́же полосы частот, которую должен пропускать усилитель. Если такого громкоговорителя найти не удастся, необходимо применить несколько громкоговорителей разных типов с тем, чтобы суммарный диапазон частот, воспроизводимый ими, был не у́же полосы частот усилителя. При этом необходимо убедиться в том, что диапазоны воспроизводимых громкоговорителями частот взаимно перекрываются и в общем спектре частот отсутствует провал.

То же самое относится и к мощности, которую должен отдавать усилитель. Если ни один из имеющихся громкоговорителей не рассчитан на указанную мощность, тогда необходимо применить несколько громкоговорителей, суммарная мощность которых должна быть несколько выше номинальной выходной мощности усилителя. Это необходимо для того, чтобы при кратковременных превышениях номинальной мощности усилителя, что всегда бывает при воспроизведении симфонической и джазовой музыки, громкоговорители не перегружались и не вносили заметных искажений. Для высококачественных усилителей суммарная мощность громкоговорителей должна быть вдвое больше номинальной мощности усилителя (речь идет о любительской или мелкосерийной аппаратуре, в которой основное — качество, а не стоимость).

В случае использования нескольких громкоговорителей нужно проследить, чтобы на группу низкочастотных громкоговорителей, воспроизводящих частоты до 5 000—6 000 *гц*, приходилось приблизительно 70% общей мощности агрегата.

Качеству громкоговорителей также должно быть уделено самое серьезное внимание. Прежде всего нужно убедиться, что диффузор громкоговорителя нигде не помят и не имеет разрывов и проколов Небольшие проколы и разрывы, если они находятся не на гофрированной части диффузора и не рядом с центрирующей шайбой и звуковой катушкой, могут быть аккуратно заклеены Затем нужно проверить плавность и свободу перемещения звуковой катушки в магнитном зазоре громкоговорителя. При этом звуковая катушка должна перемещаться совершенно свободно, нигде не цепляясь за стенки магнитного зазора

Вопрос о конструкции акустической системы должен быть решен еще до начала постройки усилителя, так как конструкция последнего зачастую зависит и определяется акустической системой Если выбор схемы усилителя не представляет трудностей для радиолюбителя, то рекомендации по выбору конструкции акустических систем, как правило, найти довольно трудно. Нужно твердо помнить, что основное и главное при выборе конструкции акустической системы — форма и акустика помещения, в котором она будет работать.

При помощи акустического агрегата с номинальной мощностью громкоговорителей до 3 *вт* и сосредоточенными излучателями (большинство настольных и переносных конструкций приемников и магнитофонов) можно удовлетворительно озвучить лишь жилую комнату площадью до 12—14 $м^2$ (напоминаем, что здесь имеется в виду не создание простой слышимости, а высококачественное воспроизведение различных программ). В помещениях площадью до 25—30 $м^2$ с формой, близкой к квадратной, удовлетворительное звучание может быть получено лишь при номинальной мощности громкоговорителей порядка 5 *вт*, причем в настольных конструкциях необходимо иметь отдельные высокочастотные громкоговорители как на передней, так и на боковых стенках футляра акустической системы, а для консольных конструкций желательно иметь выносные высокочастотные громкоговорители.

Помещения большей площади при помощи настольных и переносных конструкций удовлетворительно озвучить нельзя. В этом случае усилитель должен иметь неискаженную выходную мощность более 10 *вт* и разнесенную акустическую систему. Кроме того, в больших помещениях уже нельзя не учитывать неравномерность звукопоглощения и звукоотражения, а также реверберацию озвучиваемого помещения Таким образом, озвучивание больших помещений представляет собой весьма трудную задачу, если желательно получить высокое качество воспроизведения во всех точках этого помещения.

При самостоятельном изготовлении акустических систем даже грамотно выбранная конструкция сможет дать необходимое качество звучания лишь при условии использования соответствующих материалов и тщательном выполнении конструкции.

Материалы для акустических систем

Обязательные элементы любого акустического агрегата — футляр и отражательная доска (акустический щит), на которую устанавливают громкоговорители. Оба эти элемента в значительной мере определяют качество звучания, особенно на низших звуковых частотах. Футляр и отражательную доску изготавливают из различных пород дерева. Попытки изготавливать футляры из металла и пластмасс можно не принимать во внимание, так как они не удовлетворяют акустическим требованиям высококачественного воспроизведения и не могут быть рекомендованы радиолюбителям даже как тема для экспериментов в области электроакустики

Также не каждое дерево может идти в работу Для изготовления футляров пригодна клееная многослойная фанера толщиной от 10 до 12 *мм*. Футляр из более тонкой фанеры будет слишком «гулким» и потребует применения дополнительных звукопоглотителей. Более толстая фанера делает футляр слишком массивным Доски для изготовления футляра не пригодны из-за большого числа щелей и стыков и малой механической прочности.

Для изготовления футляра пригодна только вылежавшаяся, хорошо просушенная фанера, которая в готовой конструкции не даст «усадки» и коробления, приводящего обычно к появлению щелей и трещин. Еще большее значение имеет материал для изготовления отражательной доски Если для приемников и переносных магнитофонов, а также для высокочастотных выносных громкоговорителей в качестве материала можно использовать фанеру, то для изготовления акустических щитов консольных конструкций фанера непригодна.

Щиты для громкоговорителей этих конструкций изготавливают из брусков квадратного или прямоугольного сечения, вырезанных вдоль волокна из струганых досок толщиной 20—30 *мм*, так называемой «музыкальной» ели, или, в крайнем случае, из обычной ели или сосны. Другие породы дерева для изготовления высококачественных акустических щитов менее пригодны, а такие, как береза или дуб, вообще не годятся. Доски перед распиловкой на бруски должны быть очень тщательно высушены, а щит склеивают из отдельных вырезанных брусков

Помимо указанных материалов, при изготовлении высококачественных акустических систем применяют звукопоглощающие и демпфирующие материалы В качестве наиболее дешевого и доступного звукопоглощающего материала можно рекомендовать войлок, а в качестве демпфирующего — листовую литую резину толщиной 2—3 *мм*.

Наконец, для отделки готовых футляров применяют шпон ценных пород деревьев (орех, карельская береза, красное дерево), а в качестве драпировочной ткани для лицевой стороны футляра — «радиоткань» или обычную шерстяную ткань редкой фактуры (типа «шотландка»). Плотные ткани для этой цели непригодны.

Особенности изготовления акустических систем

Изготовление акустической системы несложно, но требует исключительной аккуратности. Сделанная наспех и кое-как система не даст хорошего звучания.

Футляр лучше всего изготавливать из четырех отдельных щитов, вырезанных из 10-*мм* авиационной фанеры и соединенных «в шип». Сборку нужно производить только на хорошем столярном клею Когда клей просохнет, с внутренней передней стороны будущего футляра прибивают гвоздями с одновременной посадкой на столярный клей два вертикальных бруска, к которым будет привинчиваться отражательная доска К внутренней стороне этих брусков по всей их поверх-

ности приклеивают или прибивают полоски из листовой резины толщиной 1—2 *мм* для плотного прилегания отражательной доски к брускам и предотвращения дребезжания.

Когда вся конструкция окончательно просохнет, по внутренним размерам футляра выпиливают отражательную доску для громкоговорителей, в которой вырезают отверстия под громкоговорители и просверливают по два-три отверстия с каждой из боковых сторон под шурупы для крепления доски к футляру. Отверстия под громкоговорители тщательно зачищают наждачной бумагой и промазывают бакелитовым лаком для того, чтобы опилки не могли попасть в магнитный зазор громкоговорителя

Перед склеиванием отражательной доски бруски нужно тщательно подогнать друг к другу. Чтобы не перепутать подогнанные бруски, их полезно пронумеровать. Когда все бруски подогнаны, их смежные стороны густо промазывают столярным или казеиновым клеем и плотно зажимают будущую доску в струбцины. При отсутствии струбцин бруски можно стянуть двумя-тремя металлическими обручами. Отражательная доска должна сохнуть в теплом месте двое-трое суток.

Когда доска хорошо просохнет, обе ее стороны обрабатывают рубанком, доведя толщину до 2—2,5 *см*. После этого обе стороны доски зачищают шкуркой и офанеровывают шпоном, располагая его волокна обязательно поперек брусков. Без этого доска со временем может дать трещины и развалиться.

После того как офанерованная доска окончательно высохнет, ее обтягивают драпировочным материалом. Совершенно недопустимо приклеивать материал с лицевой стороны доски. Вырезанный кусок материала нужно наложить с лицевой стороны доски, загнуть верхний край материала на обратную сторону и приклеить его к обратной стороне столярным клеем. Когда клей хорошо просохнет, материал равномерно натягивают и таким же способом приклеивают его с противоположной стороны. Чтобы материал остался плотно натянутым, на время просыхания клея его прибивают маленькими сапожными гвоздями, которые вынимают после окончательной просушки. Таким же путем приклеивают и противоположные боковые стороны материала. Перед сборкой и установкой отражательной доски лишнюю (выступающую) часть материала срезают.

Если в качестве драпировочного материала использована натуральная шерстяная или полушерстяная ткань, то можно побрызгать на лицевую сторону чистой водой, после просыхания которой материал слегка «сядет», благодаря чему драпировка натянется.

Перед установкой каждый громкоговоритель нужно поместить в марлевый мешочек. Для этого громкоговоритель кладут диффузором на кусок марли, края куска собирают и связывают сзади магнитной системы, излишек марли отрезают.

Подбор, размещение и фазирование громкоговорителей

Если акустическая система состоит из одного громкоговорителя, его не нужно подбирать Единственное, на что желательно обратить внимание, — это собственная резонансная частота подвижной системы громкоговорителя. Резонансная частота обычно указывается заводом-изготовителем на диффузородержателе или на упаковочной коробке. Многие громкоговорители одного и того же типа выпускаются с двумя разными резонансными частотами. Для акустической

системы, содержащей один громкоговоритель, всегда нужно использовать экземпляр с более низкой резонансной частотой.

Для акустических систем, состоящих из двух однотипных громкоговорителей, их следует применять с разными резонансными частотами. Если выбранный тип громкоговорителей выпускается только с одним значением резонансной частоты, то все равно можно отобрать громкоговорители с резонансными частотами, отличающимися на 20—30 *гц*, так как у разных экземпляров всегда будет определенный разброс собственных частот механического резонанса.

Чтобы определить резонансную частоту подвижной системы громкоговорителя, его присоединяют к звуковому генератору через резистор сопротивлением 50—100 *ом*, а параллельно выводам звуковой катушки подключают электронный милливольтметр. Затем от звукового генератора подают некоторое напряжение частоты 200 *гц*, удобное для отсчета (например, 100 *мв*), и начинают медленно понижать частоту генератора до тех пор, пока напряжение на громкоговорителе не достигнет максимума (при этом, возможно, придется переключить вольтметр на следующую шкалу) и вновь начнет уменьшаться. Частота, соответствующая максимуму напряжения на звуковой катушке громкоговорителя, и есть его резонансная частота подвижной системы. Ее нужно тут же надписать на корпусе громкоговорителя.

Для применения в акустической системе желательно взять громкоговорители, резонансная частота которых отличается не менее чем на 30—40 *гц*. Если имеется возможность, желательно отобрать громкоговорители с «тупым» резонансом. Когда в качестве высокочастотных используют обычные маломощные громкоговорители (например, 1ГД-9 или 1ГД-18), нужно отбирать экземпляры с более высокой частотой собственного резонанса.

Подбор разнотипных громкоговорителей для консольных акустических систем сводится к выбору экземпляров с предельно «тупой» резонансной кривой и наиболее низкой частотой собственного резонанса для низкочастотного и наиболее высокой для высокочастотного получателя. В высококачественных акустических системах в качестве высокочастотного обычно применяют громкоговорители ВГД или рупорные излучатели «Кинап».

Если система состоит из нескольких громкоговорителей, они должны быть обязательно сфазированы между собой. Это значит, что у громкоговорителей, имеющих один фронт излучения, диффузоры в один и тот же момент должны двигаться в одинаковых направлениях. Это может быть получено лишь при правильном электрическом соединении громкоговорителей между собой. Чтобы правильно, синфазно включить громкоговорители, поступают следующим образом. От звукового генератора к одному из фазируемых громкоговорителей подводят сигнал частотой 200±50 *гц* такой величины, чтобы получить мощность звука, соответствующую 0,05—0,1 номинальной выходной мощности. Затем, не переставая слушать звук со стороны излучателя, параллельно первому громкоговорителю подключают второй. Если при этом громкость звука заметно возрастает, значит, громкоговорители включены синфазно. При уменьшении громкости необходимо изменить полярность у второго громкоговорителя на обратную. Таким же образом параллельно двум сфазированным громкоговорителям подключают третий и все остальные.

Особо следует остановиться на размещении громкоговорителей

в акустическом агрегате. Здесь нельзя дать единой рекомендации для всех случаев. Однако можно рекомендовать несколько правил, которых желательно всегда придерживаться.

Прежде всего, при конструировании акустической системы из нескольких громкоговорителей нужно максимально ослабить их взаимное влияние. Это требование удовлетворяется при фронтальном расположении громкоговорителей и прямоугольно-кубической форме футляра с открытой задней стенкой. Если по конструктивным или иным соображениям форма футляра отличается от прямоугольной, или если громкоговорители расположены под углом друг к другу, то необходимо соседние громкоговорители разделить перегородкой из фанеры толщиной 4—6 *мм* на всю глубину футляра и по высоте превышающую диаметр большего из громкоговорителей на 10—15%. Обе стороны этой перегородки должны быть оклеены войлоком.

Все изложенное относится, в основном, к низкочастотной группе громкоговорителей. Когда в состав акустического агрегата входят несколько низкочастотных, среднечастотных и высокочастотных громкоговорителей, нужно помнить, что излучение низкочастотных громкоговорителей, как правило, более мощное и менее направленное, чем высокочастотных. К тому же низшие звуковые частоты меньше поглощаются и отражаются мягкими предметами, всегда имеющимися в жилой комнате. Благодаря этому низкочастотные громкоговорители можно расположить в нижней части конструкции, непосредственно над полом комнаты (для консольных конструкций). При этом интенсивность и равномерность звука в любой части помещения будет удовлетворительной. Кроме того, при низком расположении низкочастотных громкоговорителей смягчается неприятный «ударный» эффект, появляющийся при воспроизведении резких низких звуков (большой барабан, контрабас).

Для высокочастотной группы громкоговорителей имеется обратная закономерность. Высшие звуковые частоты обладают резко выраженной направленностью. Они сильно поглощаются мягкими предметами (ковры, шторы) и в то же время хорошо отражаются от ровных поверхностей с малым коэффициентом поглощения (стены, полированная мебель, зеркала, окна), что приводит к появлению в помещении многократно отраженных сигналов. Имея разные фазы, эти сигналы взаимно складываются и вычитаются, создавая в помещении зоны с большой неравномерностью звука. Это приводит к тому, что создать в комнате удовлетворительное распределение высших звуковых частот оказывается возможным лишь при четырех — шести высокочастотных громкоговорителях. Лучше всего один из них поместить на отражательной доске над основными (низкочастотными) громкоговорителями, два других поместить на боковых противоположных стенках футляра, а еще два сделать выносными, подобрав их расположение по наиболее равномерному звучанию.

Нужно, однако, оговориться, что все изложенное относится лишь к случаю использования усилителей с широкой полосой пропускания и большой выходной мощностью.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОЩНОСТЬЮ ДО 5 *вт*

Акустические системы с суммарной мощностью громкоговорителей до 5 *вт* обычно имеют один или два, реже — три или четыре громкоговорителя. Все они выполняются либо как настольные, либо как переносные.

Настольные конструкции используют для радиоприемников, переносные — для магнитофонов и транзисторных приемников.

Акустические системы из одного громкоговорителя применяют исключительно для переносной малогабаритной аппаратуры. В них чаще всего применяют громкоговорители 1ГД-9 (1ГД-18) номинальной мощностью 1 *вт* и полосой воспроизводимых частот от 100 до 10 000 *гц* или 2ГД-3, мощностью 2 *вт* и полосой от 70 до 10 000 *гц* и реже — 4ГД-1 мощностью 4 *вт* и полосой от 60 до 12 000 *гц*, или 5ГД-14, мощностью 5 *вт* и полосой от 60 до 12 000 *гц* В настольной аппаратуре один громкоговоритель используют лишь в малогабаритных телевизорах или в батарейных приемниках.

Поскольку простой усилитель низкой частоты может дать только удовлетворительное качество звучания, определяющим моментом в расположении и оформлении громкоговорителя в этом случае должно быть соображение общей компоновки аппарата, а не его акустических особенностей Обычно стремятся лишь к тому, чтобы громкоговоритель был обращен диффузором к слушателю. Однако в некоторых случаях (например, в переносном транзисторном телевизоре) даже и это минимальное требование не удовлетворяется.

Для громкоговорителей мощностью 1 *вт* и менее отражательных досок обычно не применяют. Их прикрепляют непосредственно к одной из стенок футляра или к металлическому шасси радиоаппарата.

Для двухваттных громкоговорителей иногда вырезают отражательную доску из 6—10 *мм* фанеры, размером, превышающим диаметр громкоговорителя на 2—3 *см*. Чаще, однако, их прикрепляют к боковой стенке футляра телевизора или к передней панели переносного магнитофона без отражательной доски.

Громкоговорители 4ГД-1 и 5ГД-14 применяют почти исключительно для переносных радиопроигрывателей. В этом случае их размещают либо в отдельном чемодане, либо на откидной крышке проигрывателя. И в том, и в другом случае днище или крышка чемодана из 8—10 *мм* фанеры служит отражательной доской.

Акустические системы из двух громкоговорителей одного типа часто встречаются в настольных радиоприемниках и телевизорах. Для приемников обычно используют два громкоговорителя 1ГД-5, 1ГД-6 или 2ГД-3, а для телевизоров — 1ГД-9. Иногда громкоговорители 1ГД-9 применяют в настольных транзисторных приемниках и весьма часто — в переносных магнитофонах.

В настольных приемниках оба громкоговорителя располагают рядом на одной отражательной доске из 6—10-миллиметровой фанеры и помещают на лицевой стороне футляра над шкалой приемника или сбоку от нее. Формат отражательной доски — 1 : 2 для громкоговорителей 1ГД-5 и 2ГД-3 и — 1 : 3,5 для громкоговорителей 1ГД-9. В телевизорах громкоговорители 1ГД-9 часто располагают вертикально рядом с кинескопом. В магнитофонах громкоговорители располагают в зависимости от конструктивных особенностей аппарата.

Акустические системы из трех или четырех громкоговорителей получили большое распространение в промышленной и радиолюбительской аппаратуре бытового назначения. В них применяют громкоговорители двух типов — широкополосные и высокочастотные. Такие же системы нужно рекомендовать и радиолюбителям, так как вопол-

не удовлетворительное качество звучания достигается при относительно небольших затратах и простоте конструкции.

Классический акустический агрегат, рассчитанный на номинальную отдаваемую мощность 4 *вт*, содержит два громкоговорителя 2ГД-3, расположенные рядом на отражательной доске, и два громкоговорителя 1ГД-9 (1ГД-18), установленные на боковых стенках футляра. Отражательные доски для высокочастотных громкоговорителей не обязательны

Поскольку широкополосные громкоговорители 2ГД-3 довольно хорошо излучают высшие звуковые частоты, рекомендуемая акустическая система создает весьма удовлетворительное распределение звука по всему помещению, если оно не превышает по размерам 14—18 $м^2$.

Для усилителей с выходной мощностью порядка 5 *вт* можно рекомендовать вместо двух громкоговорителей 2ГД-3 установить один эллиптический громкоговоритель 5ГД-14, снабженный дополнительным высокочастотным рупором и позволяющим благодаря этому воспроизводить звук в широкой полосе частот. Для этого громкоговорителя нужно применить отражательную доску из фанеры толщиной не менее 10—12 *мм*. Высокочастотные громкоговорители могут остаться те же.

Акустическая система с пятью громкоговорителями, предназначенная для модели в настольном оформлении, питается от двухканального усилителя низкой частоты.

Основной низкочастотный громкоговоритель 5ГД-14 и среднечастотный громкоговоритель 2ГД-3 подключены к выходу низкочастотного канала, имеющего выходную мощность 5 *вт*. Первый из них подключают непосредственно к выводам вторичной обмотки выходного трансформатора, а второй — через разделительный конденсатор емкостью 10 *мкф* (обязательно бумажный). Этим уменьшается влияние механического резонанса второго громкоговорителя на суммарную акустическую характеристику агрегата.

Остальные три громкоговорителя — высокочастотные ВГД. Они подключены к выходу соответствующего канала, выходная мощность которого 1,5 *вт*. В крайнем случае можно использовать громкоговорители 1ГД-9, что, однако, менее желательно

Громкоговорители канала низших частот и один из высокочастотных громкоговорителей располагают на клееной отражательной доске. Фанера для изготовления отражательной доски в этом случае не годится. Остальные высокочастотные громкоговорители могут быть размещены одним из двух способов.

В первом случае каждый из них укрепляют на наружной стороне специального короба, показанного на рис. 23, *а*. Сам короб приклеивают или привинчивают с внутренней стороны к боковой стенке футляра. Для выхода звука в этом месте футляра делают отверстие и задрапировывают его тканью или закрывают декоративной решеткой. При такой конструкции боковые громкоговорители оказываются расположенными под углом 45° к акустической оси основных громкоговорителей, что позволяет сравнительно равномерно распределить высшие звуковые частоты по всей площади помещения.

Во втором случае высокочастотные громкоговорители делают выносными и подбирают их наилучшее расположение в помещении.

При любом способе расположения как основные, так и высокочастотные громкоговорители должны быть сфазированы между собой. Взаимное расположение громкоговорителей в футляре приведено на рис. 23, *б*.

Такая акустическая система в состоянии удовлетворительно озвучить помещение площадью до 40 $м^2$ и выдерживает без искажений полуторакратную перегрузку.

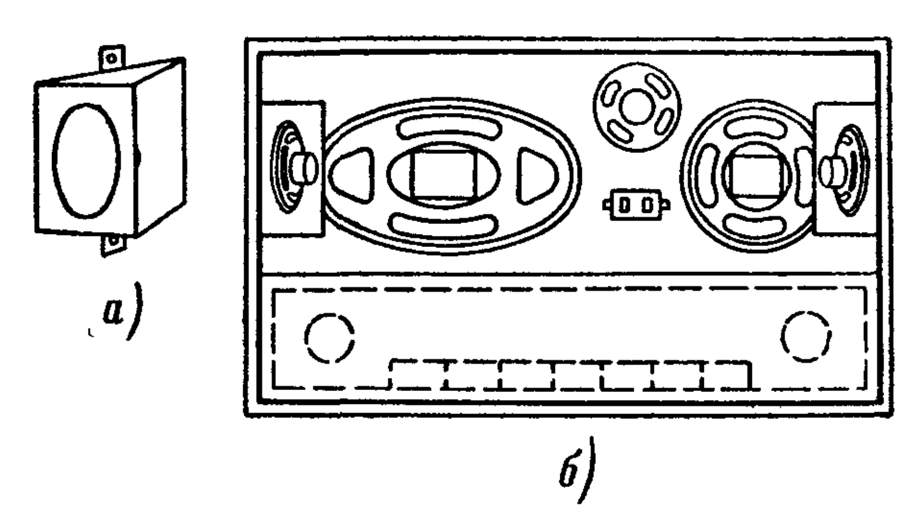


Рис. 23. Конструкция футляра для настольного приемника 1-го класса.

а — эскиз короба высокочастотного громкоговорителя, *б* — взаимное расположение громкоговорителей.

АКУСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МОЩНОСТЬЮ ОТ 5 ДО 25 *вт*

Акустические агрегаты мощностью более 5 *вт* почти исключительно строят в консольном (напольном) оформлении и почти всегда для высококачественных усилителей. Исключение составляют небольшие радиокомбайны, содержащие приемник, телевизор и проигрыватель. В связи с этим к акустическим агрегатам повышенной мощности предъявляют весьма высокие требования. Они довольно дороги и сложны в изготовлении и требуют применения дефицитных громкоговорителей. Такие акустические системы могут быть рекомендованы лишь высококвалифицированным радиолюбителям, располагающим необходимой базой для их постройки и соответствующей аппаратурой для регулировки и налаживания. В то же время лишь подобные акустические системы в состоянии приблизить воспроизведение звука к натуральному звучанию. Интерес к таким конструкциям среди опытных радиолюбителей довольно высок. Поэтому ниже приводится подробное описание нескольких консольных агрегатов.

Малогабаритная консольная акустическая система предназначена для работы с переносным магнитофоном, всеволновым полупрофессиональным радиоприемником, электропроигрывателем или телевизором. Чаще всего каждый из этих аппаратов имеет свой усилитель низкой частоты и свою акустическую систему, однако качество звучания их обычно бывает неудовлетворительным из-за малых габаритов и упрощенной акустической системы. В то же время эти аппараты могли бы воспроизводить более широкий диапазон частот.

Для этого можно рекомендовать разработанную автором небольшую акустическую систему, выполненную в виде журнального стола.

Она занимает в комнате мало места и имеет хорошие акустические данные. Внутри смонтированы универсальный усилитель с собственными регуляторами громкости и тембра и громкоговорители. В этом случае усилитель НЧ и акустическую систему имеющегося приемника, телевизора и т п. не используют, а сигнал низкой частоты с помощью переходного шланга подают на вход универсального усилителя акустической системы. Акустическая система столика состоит из трех громкоговорителей 2ГД-3 и двух выносных громкоговорителей ВГД. В крайнем случае их можно заменить громкоговорителями 1ГД-9 (1ГД-18).

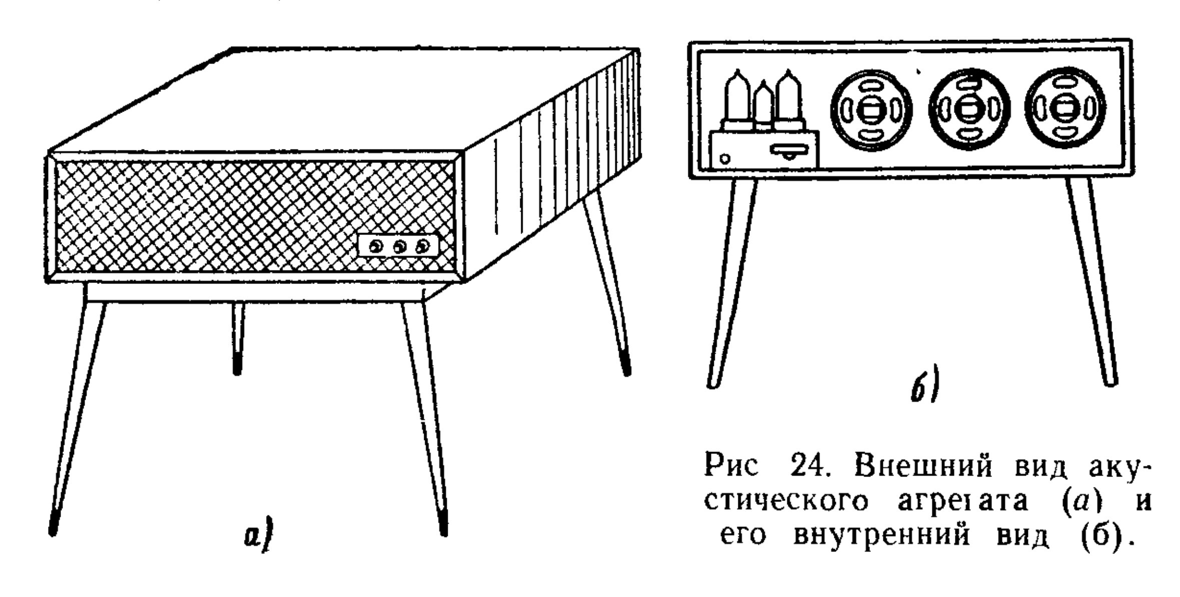


Рис 24. Внешний вид акустического агрегата (*а*) и его внутренний вид (б).

Внешний вид столика приведен на рис. 24, *а*. Конструкция столика (рис 24, *б*) настолько проста, что не требует особых пояснений.

Громкоговорители 2ГД-3 размещены на отражательной доске, изготовленной из отдельных еловых брусков. Размеры доски и отверстий в ней ясны из приведенного рисунка. Все громкоговорители включают параллельно и синфазно

Футляр изготавливают из 10-миллиметровой авиационной фанеры. Снаружи его офанеровывают шпоном ореха или карельской березы. Ножки для столика — точеные. Они могут быть снабжены резьбой и ввертываться в его днище, либо могут быть выполнены в виде единой рамы, к которой шурупами привинчивают футляр.

Во время работы устройство включают в сеть, на столик устанавливают источник сигнала (магнитофон, приемник и т. п.) и соединяют усилитель столика с выходом приемника, магнитофона и т. п. В нерабочем состоянии столик может быть использован как журнальный. Подробное описание усилителя к этому столику приведено на стр. 66—71.

Другая малогабаритная акустическая система состоит из двух одинаковых агрегатов, разнесенных на некоторое расстояние друг от друга и позволяющих равномерно озвучивать сравнительно большие (50—70 *м*²) помещения. Каждый из этих агрегатов имеет равномерную широкополосную частотную характеристику и номинальную выходную мощность 7,5 *вт*. Оба агрегата вместе рассчитаны на мощность 15 *вт*, но выдерживают без перегрузки среднюю мощность в 20 *вт* и пиковую до 25 *вт*. Поскольку оба агрегата совершенно идентичны, приводим подробное описание только одного из них.

Акустическая система состоит из двух широкополосных громкоговорителей 4ГД-1 и двух высокочастотных громкоговорителей 1ГД-9 Первые из них расположены фронтально на одной общей отражательной доске, представляющей собой переднюю стенку футляра. Два других расположены на противоположных боковых стенках футляра каждый на своей отражательной доске Передняя отражательная доска склеена из брусков музыкальной (в крайнем случае — обычной) ели, а боковые — из 10-миллиметровой фанеры. Общий вид футляра показан на рис. 25, *а*, а размеры и разметка отверстий основной отражательной доски приведены на рис. 25, *б*.

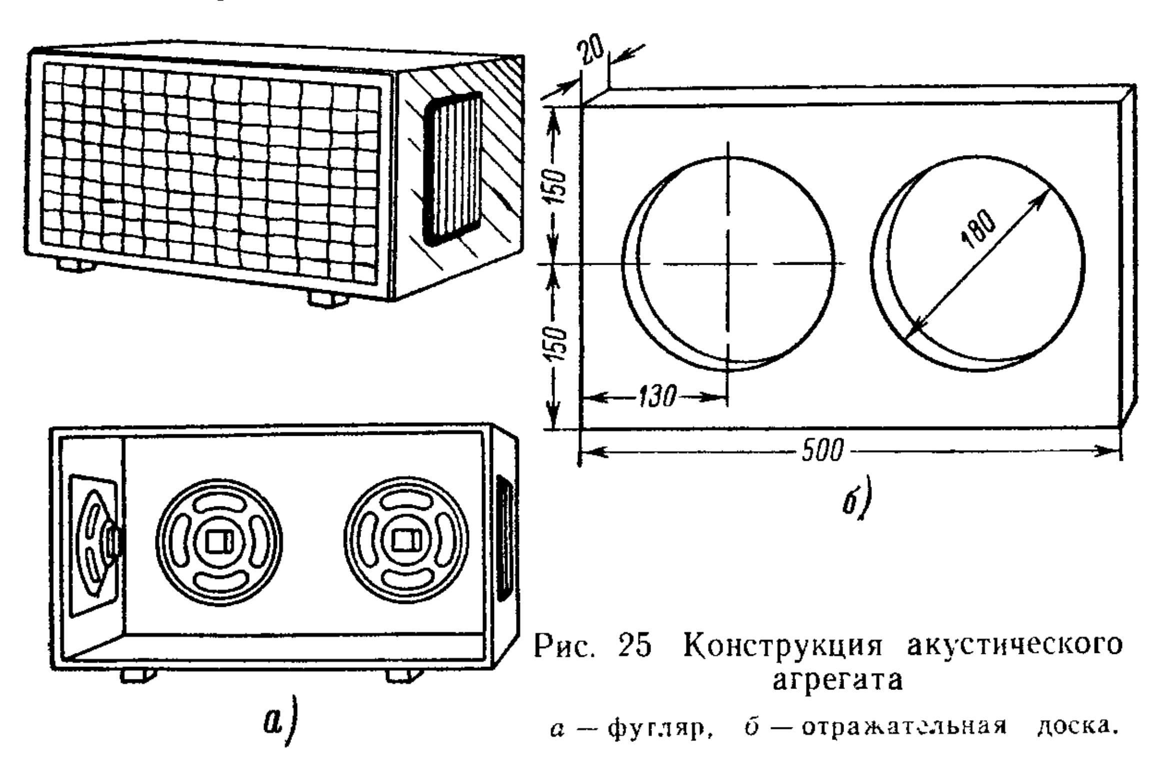


Рис. 25 Конструкция акустического агрегата

а — футляр, *б* — отражательная доска.

Футляр собирают, придерживаясь указаний, приведенных на стр. 45—46. Перед установкой в футляр передней и боковых отражательных досок внутреннюю сторону верхней, нижней и боковых его стенок оклеивают войлоком толщиной 2—3 *мм*. В тех местах боковых стенок, где будут находиться высокочастотные громкоговорители, в войлоке делают вырезы по размерам отражательных досок для этих громкоговорителей. Отражательные доски с громкоговорителями 1ГД-9 укрепляют шурупами на боковых стенках футляра через уплотняющие резиновые прокладки толщиной 1—2 *мм*.

Основные громкоговорители соединяют параллельно и синфазно, высокочастотные — через разделительный конденсатор емкостью 4 *мкф*. Оба акустических агрегата подключают к широкополосному усилителю, подробное описание которого приведено на стр. 83—90.

Акустическая система «ромашка» была разработана автором как широкополосная акустическая система, мощностью 8—10 *вт* без мощных низкочастотных громкоговорителей. Изготовление высококачественных акустических систем без хороших низкочастотных громкоговорителей особенно интересует радиолюбителей, так как приобретение хороших низкочастотных громкоговорителей сопряжено с трудностями.

Система «ромашка» состоит из 8 или 12 громкоговорителей 1ГД-9 и обеспечивает неискаженную отдаваемую мощность соответственно 6 или 10 *вт*. Полоса воспроизводимых звуковых частот лежит в пределах от 60 до 12 000 *гц*. Смысл конструкции состоит в том, что каждый из громкоговорителей 1ГД-9 — широкополосный и удовлетворительно воспроизводит частоты от 80 до 12 000 *гц*. Более низкие частоты хотя и воспроизводятся им, но имеют уровень на 5—10 *дб* ниже, чем на средних частотах. Если несколько таких громкоговорителей расположить по кругу некоторого радиуса на массивной отражательной доске акустической камеры с собственной резонансной частотой в области 40 *гц*, то общая полоса частот, воспроизводимых всеми громкоговорителями, оказывается сдвинутой в сторону собственной резонансной частоты акустической камеры. В то же время при большом числе громкоговорителей их собственные резонансные частоты оказываются распределены в некотором (практически довольно большом) участке спектра, в результате чего суммарная частотная характеристика всей системы оказывается весьма равномерной в диапазоне от 45—60 до 12 000—14 000 *гц*. Общая мощность, отдаваемая системой, определяется суммой номинальных мощностей всех громкоговорителей.

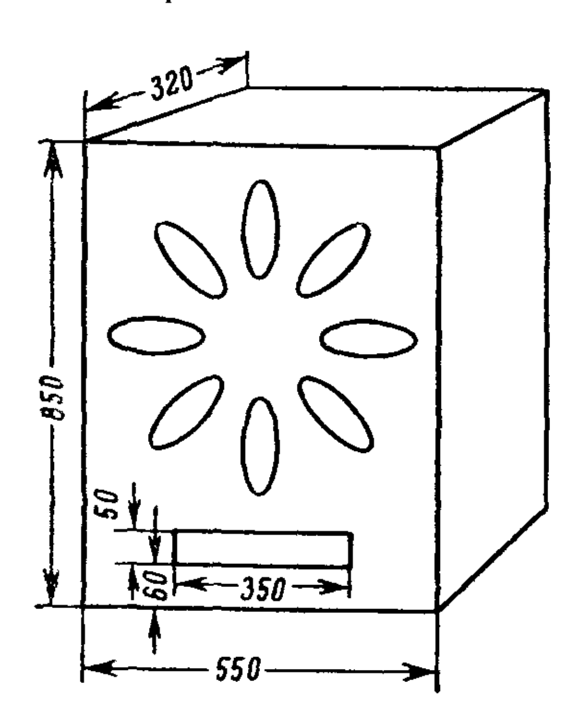


Рис. 26. Акустическая система «ромашка».

В области высших звуковых частот система хотя и обладает направленным действием, но охватывает весьма широкий фронт благодаря тому, что фактический диаметр излучения в несколько раз превышает диаметр рупорного излучателя отдельного громкоговорителя.

Размеры футляра и отражательной доски такой акустической системы приведены на рис. 26. Доску изготавливают из клееных брусков сосны или ели, а футляр — из 10—12-миллиметровой фанеры. Футляр изнутри оклеивают войлоком. К нижней его доске привинчивают или приклеивают четыре коротких ножки. Устанавливают агрегат в углу комнаты. Питать его можно от любого широкополосного одноканального усилителя выходной мощностью 6—10 *вт*.

При сборке агрегата особенно строго нужно проследить за синфазностью включения громкоговорителей. Соединять их можно параллельно последовательными группами, для чего общее число примененных громкоговорителей должно быть четным, а еще лучше — кратным четырем. Общее сопротивление системы должно быть согласовано с выходным сопротивлением усилителя.

Акустическая система типа «веер» построена на том же принципе, что и предыдущая. Свое название она получила из-за веерообразного расположения громкоговорителей.

Эта система имеет значительно меньшие габариты, чем предыдущая, но несколько сложнее в изготовлении. Она состоит из восьми громкоговорителей 1ГД-9, расположенных как показано на рис. 27. Там же проставлены и основные размеры футляра.

Верхняя, нижняя и боковые стенки футляра сделаны из фанеры толщиной 8—10 *мм*, а передняя (отражательная доска) — составная, собранная из восьми одинаковых отражательных досок, конструкция и размеры которых приведены на том же рисунке.

Каждую отражательную доску выпиливают из клееной еловой или сосновой доски, изготовленной из отдельных брусков (см. стр. 46), а затем их склеивают вместе так, чтобы получилась единая целая доска. Изготовление такой составной доски требует больших затрат труда и особой тщательности. Зато качество звучания с ней намного выше, чем с обычной фанерной отражательной доской.

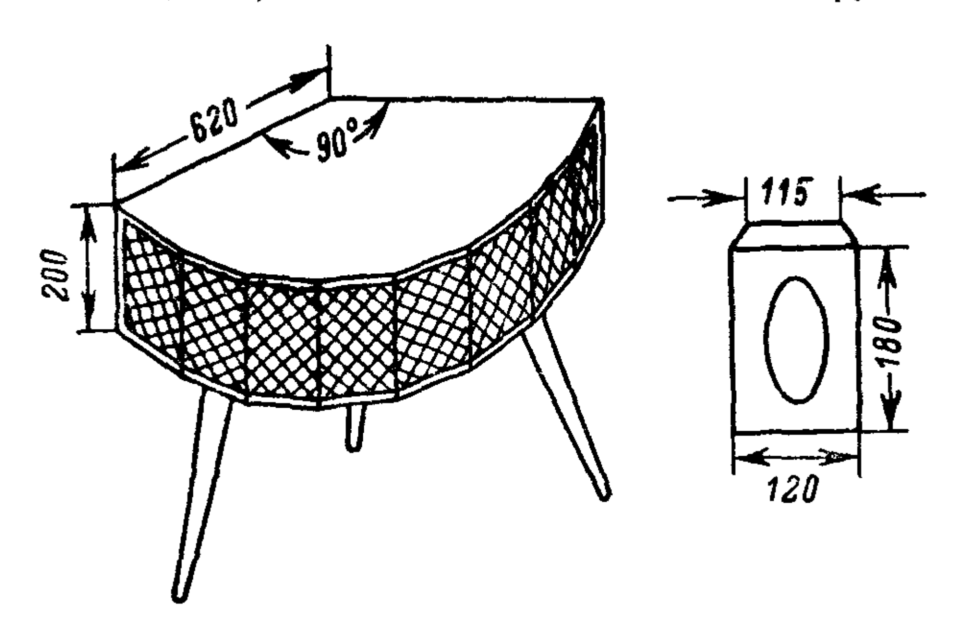


Рис. 27. Акустическая система «веер».

Ножки для футляра — деревянные, точеные. Способ их крепления — любой. В нерабочем состоянии акустическая система может выполнять функции столика, поэтому она не будет лишней в жилом помещении.

Драпировочный материал нужно применить такой, чтобы он гармонировал с цветом фанеровки футляра.

Конструкция предназначена для установки в углу комнаты, чем и вызвана ее необычная форма. В этом случае получается вполне удовлетворительное распределение звука в помещении площадью до 35 $м^2$.

Двадцативаттная широкополосная акустическая система содержит девять громкоговорителей. Она достаточно сложна и трудоемка в изготовлении и может быть рекомендована лишь квалифицированным радиолюбителям, располагающим двухканальным усилителем и широкополосными источниками низкочастотного сигнала. В противном случае возможности этой системы окажутся нереализованными, а затраты на ее изготовление — неоправданными. Кроме того, для практического использования динамического диапазона, на который

рассчитан акустический агрегат, требуется помещение площадью порядка 50—80 $м^2$.

Общий вид акустического агрегата, его размеры и размещение в нем громкоговорителей приведены на рис. 28. В состав акустической системы входят два мощных низкочастотных громкоговорителя 10ГД-5 (в крайнем случае, 6ГД-1-РРЗ, от приемника «Рига-10»), два среднечастотных громкоговорителя 2ГД-3, три высокочастотных громкоговорителя 1ГД-18 и два выносных высокочастотных громкоговорителя ВГД-1. Низкочастотные громкоговорители подключают непосредственно к выходу низкочастотного канала, среднечастотные — к тому же выходу, но через разделительный конденсатор емкостью 5—10 *мкф*, чтобы собственные резонансные частоты этих громкоговорителей оказались вне полосы воспроизведения. Высокочастотные громкоговорители 1ГД-18 и выносные — ВГД-1 подключают к соответствующим выходам высокочастотного канала.

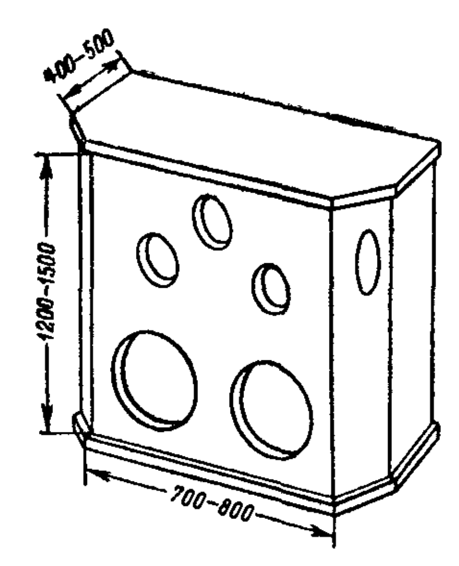


Рис. 28. Акустическая система для широкополосного усилителя.

Граничная частота раздела усилителей выбрана в области 7 000 *гц*. В низкочастотном канале должны быть предусмотрены регуляторы тембра низших и высших звуковых частот, а функцию третьего регулятора тембра может выполнять регулятор уровня высокочастотного канала.

Отражательная доска футляра склеена из брусков музыкальной ели. Применение обычной ели менее желательно, а остальных пород — недопустимо. Внизу, под громкоговорителями 10ГД-5, в доске проделана акустическая щель. Громкоговорители 2ГД-3 укрепляют на специальных коробах — отражателях из 8 миллиметровой фанеры, расположенных на отражательной доске под углом 25—35° к ней. В месте выхода звука этих громкоговорителей в отражательной доске выпиливают окна соответствующего размера. Размещение громкоговорителей 1ГД-18 понятно из рисунка. Выносные громкоговорители ВГД-1 располагают в отдельных небольших ящиках-футлярах, габариты и конструкция которых некритичны. Положение этих громкоговорителей в помещении подбирают по наиболее равномерному распределению высших звуковых частот и отсутствию «мертвых зон».

Вся система должна быть выполнена весьма тщательно, чтобы при работе агрегата не наблюдалось дребезжаний. Боковые, верхнюю и нижнюю стенки футляра оклеивают изнутри войлоком.

Некоторые замечания о конструировании радиол, магнитол и радиокомбайнов

При конструировании настольных радиол радиолюбитель обычно сталкивается с неприятным явлением, заключающимся в том, что усилитель начинает «выть», т. е. начинается самовозбуждение усилителя. Это явление наблюдается при повышении громкости до некоторого предела и, по существу, не дает возможности использовать номинальную мощность усилителя. Объясняется оно тем, что при большой громкости стенки футляра радиолы начинают колебаться в такт со звуком. Эти колебания передаются корпусу проигрывателя, а через него — на иглу звукоснимателя. Если эти колебания совпадают по фазе с вынужденными колебаниями иглы, создается положительная обратная связь, приводящая к самовозбуждению усилителя.

Поскольку фаза механического колебания зависит от свойств передающего материала и частоты колебаний, легко видеть, что при неизменных свойствах материала на какой-нибудь частоте воспроизводимого спектра фаза в любой момент будет положительной, что и приведет к обязательному самовозбуждению усилителя. Однако сигналы более высоких частот больше затухают в материале футляра. Поэтому наиболее опасны с точки зрения возникновения самовозбуждения — самые низкие звуковые частоты.

Из изложенного становится ясным путь борьбы с этим явлением. Он, во-первых, состоит в уменьшении механико-акустической связи между иглой звукоснимателя и футляром, а, во-вторых, в ограничении низкочастотной части полосы воспроизведения усилителя.

Для удовлетворения первого из этих условий нужно применять мягкую подвеску проигрывателя к корпусу радиолы. Следует заметить, что применение стандартных пружин, имеющихся на корпусе фабричного проигрывателя, как правило, не обеспечивает устойчивую работу при мощности более 3 *вт*.

Можно рекомендовать радиолюбителям применять специальный переходный демпфирующий пояс, представляющий собой алюминиевую пластину толщиной 1,5—2 *мм*, к которой сверху на фабричных пружинах крепят проигрыватель, а снизу по всему периметру приклеивают рант из мягкой микропористой резины шириной 25—30 *мм* и толщиной 10—15 *мм* (см. рис. 48). Панель помещают под крышкой радиолы на клею, избегая каких бы то ни было жестких соединений.

Для выполнения второго условия лучше всего при помощи переключателя рода работы подключать звукосниматель ко входу усилителя через разделительный конденсатор или специальный фильтр, ограничивающий частотную характеристику усилителя в области частот 90—120 *гц*.

Наилучшим решением нужно считать введение в схему усилителя отдельного дополнительного регулятора громкости специально для звукоснимателя, который должен иметь частотнозависимую регулировку, позволяющую ослаблять самые низшие звуковые частоты при увеличении громкости.

Кроме того, весьма полезно между звукоснимателем и усилителем установить еще один коммутируемый фильтр, ограничивающий полосу пропускания на частотах выше 6 000 *гц* при воспроизведении обычных записей со скоростью 78 *об/мин*. Это исключит из передачи неприятное шипение, характерное для старых записей. Нужно, однако, помнить, что все эти дополнительные устройства подключают ко входу усилителя, поэтому необходимо соблюдать правила монтажа входных цепей, чтобы не повысить уровень фона.

При создании магнитол нужно также тщательно коммутировать низкочастотный сигнал во избежание появления фона. Помимо этого, надо проследить, чтобы электродвигатель магнитофона и питающие провода не оказались вблизи первой лампы усилителя и ее цепей.

При компактном монтаже магнитолы лучше всего изолировать входную часть усилителя от магнитных и статических полей магнитофона стальным экраном. С другой стороны, головки магнитофона и магнитную ленту иадо защитить от влияния магнитных полей громкоговорителя. Для этого лучше всего использовать специальные громкоговорители с кольцевыми магнитами, имеющими ничтожные поля рассеяния. Такие громкоговорители выпускаются наряду с обычными и имеют те же электрические данные (1ГД-19, 2ГД-19 и др.).

Наконец, необходимо исключить наводки от трансформатора питания усилителя или приемника магнитолы на головки, что также достигается соответствующей экранировкой и использованием ленточного сердечника для трансформатора питания.

При конструировании радиокомбайнов, т. е устройств, содержащих несколько разных радиоаппаратов и имеющих, как правило, общий усилитель низкой частоты, все указанные замечания остаются в силе. Кроме того, если в радиокомбайн входит телевизор, то необходимо учитывать очень сильные электростатические поля на частоте 15 625 *гц* (частота строчной развертки телевизора), излучаемые акводагом кинескопа и всеми деталями блока строчной развертки и высоковольтного выпрямителя. Хотя эта частота и лежит на границе слышимого диапазона звуковых частот и часто находится за пределами оговоренной полосы пропускания усилителя низкой частоты, влияние этих полей на усилитель весьма ощутимо и обычно приводит к недопустимой перегрузке усилителя на этой частоте. В результате на остальных частотах усилитель начинает работать с недопустимыми искажениями.

Для борьбы с этим видом наводок в усилитель включают один или несколько фильтров, ограничивающих полосу пропускания выше 14 000 *гц*, а также применяют электростатическое экранирование как усилителя низкой частоты, так и излучающих узлов строчной развертки телевизора (строчной выходной трансформатора, оконечную генераторную лампу, высоковольтные цепи и, наконец, колбу кинескопа у стеклянных трубок).

При конструировании радиокомбайна очень важно исключить влияние магнитных цепей громкоговорителей на кинескоп, так как из-за этого соответствующая сторона растра может оказаться искривленной. Для предотвращения влияния магнитных цепей нужно применять громкоговорители с малыми полями рассеяния, либо располагать их дальше от кинескопа, либо устанавливать между ними стальной экран.

В радиокомбайн целесообразно ввести коммутатор рода работ, который должен позволять коммутировать цепи питания всех аппаратов от сети переменного тока, а также все выходы низкочастотных сигналов этих аппаратов и вход общего усилителя низкой частоты. Коммутатор должен быть надежно экранирован от влияния всех полей и возможных наводок. Все провода к нему и от него должны быть экранированы, но в то же время иметь минимальную длину, так как длинные экранированные провода создают заметный «завал» частотной характеристики в области высших звуковых частот. Части коммутатора, переключающие цепи питания и цепи низкой частоты, должны быть разделены между собой экраном для избежания наводок со стороны переменного тока на входную цепь усилителя.

Так как акустическая система радиокомбайна, как правило, имеет мощность выше 5 *вт*, особое внимание нужно уделить мягкой подвеске платы электропроигрывателя во избежание акустической обратной связи.

С появлением малогабаритных узлов и деталей, позволяющих конструировать портативные переносные магнитофоны, приемники и электропроигрыватели, мощные и громоздкие радиокомбайны теряют свой основной смысл — меньшие габариты, чем суммарный объем всех входящих в него отдельных радиоаппаратов.

В наши дни целесообразнее каждый из входящих в комбайн аппаратов делать автономным и конструктивно законченным. В каждом

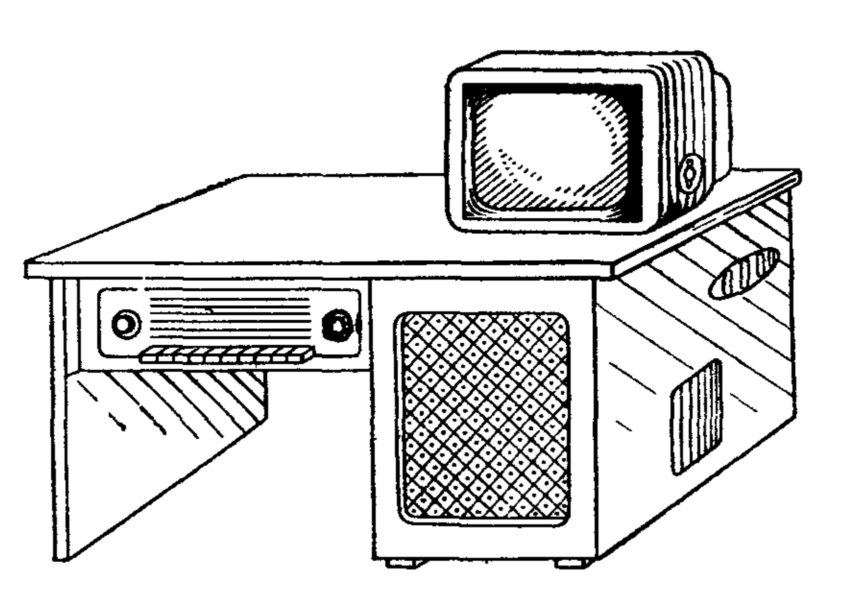


Рис. 29. Вариант конструкции радиокомбайна.

из них должен быть свой усилитель низкой частоты очень простой по конструкции и отдающий неискаженную мощность 1—2 *вт*. Главными качествами таких аппаратов должны быть компактность и высокие электрические параметры до входа усилителя низкой частоты. Дома нужно иметь высококачественный акустический агрегат с хорошим мощным широкополосным усилителем низкой частоты, ко входу которого можно быстро и просто подключить магнитофон, приемник, звукосниматель и т. п.

Такое устройство должно полностью вытеснить из радиолюбительской практики тяжелые и громоздкие радиокомбайны, поскольку оно, сохраняя высокие электроакустические данные каждого аппарата при стационарном использовании, позволяет, в то же время использовать каждый из них автономно.

Конструктивно такое устройство может быть выполнено по типу однотумбового стола, в боковой части (тумбе) которого может находиться акустическая система; сверху может быть установлен телевизор, а остальная часть (верхняя доска и нижняя полка) используются либо как место для установки электропроигрывателя или магнитофона, либо как обычный письменный стол.

Возможный вариант конструкции такого устройства изображен на рис. 29.

Проверка и налаживание акустического агрегата

Когда усилитель полностью отрегулирован и доведен до требуемых параметров, приступают к регулировке акустического агрегата, которая сводится к проверке правильности фазировки всех громкоговорителей и к выявлению и устранению дребезжаний.

Выше было рассказано, как с помощью звукового генератора правильно сфазировать громкоговорители. Однако при последовательном включении громкоговорителей пользоваться этим способом трудно, так как вместо последовательного отключения громкоговорителей их приходится замыкать накоротко. Но при этом разница в громкости звучания получается незначительной и правильно сфазировать громкоговорители довольно трудно. В этом случае приходится фазировать громкоговорители при помощи источника постоянного тока, например батарейки от карманного фонаря. В момент подключения батарейки к проводам, соединяющим громкоговорители со вторичной обмоткой выходного трансформатора, диффузоры правильно сфазированных громкоговорителей должны двигаться в одну сторону. В противном случае придется поменять местами выводы от тех громкоговорителей, диффузоры которых двигаются в другую сторону.

Для выявления посторонних призвуков и дребезжаний на вход усилителя подают от звукового генератора сигнал такой величины, чтобы к акустическому агрегату оказалась подведена номинальная электрическая мощность. После этого, поддерживая уровень сигнала на нагрузке неизменным, медленно изменяют частоту генератора в диапазоне от 30—40 до 15 000—18 000 *гц* и внимательно слушают звук, воспроизводимый агрегатом. При появлении на какой-либо частоте дребезжания прекращают изменять частоту генератора и устраняют причины выявленного дефекта. Таким образом, необходимо внимательно прослушать агрегат на всех частотах вплоть до верхней границы полосы воспроизведения.

Если внутри акустической системы расположены только громкоговорители, то дребезжание чаще всего бывает при задевании выводных проводов звуковой катушки о корпус. Для устранения этого достаточно слегка подогнуть выводные провода.

Когда акустический агрегат напольный и сделан на тонких ножках, то при максимальной мощности на низких частотах (30—80 *гц*) причиной дребезжания может быть недостаточное механическое сцепление ножек агрегата с полом (особенно паркетным). В этом случае нужно прибить или приклеить на ножки резиновые амортизаторы.

Если внутри акустической системы находится усилитель или приемник, или если акустическая система служит основой радиокомбайна, то источники дребезжания почти всегда находятся в составных узлах конструкции. В этих случаях нужно очень тщательно прослушать всю систему в различных режимах работы при максимальной выходной мощности и на всех частотах и также найти и устранить причины дребезжания.

Доведение параметров усилителя до требуемых

Нередко оказывается, что, несмотря, на правильный расчет, тщательное изготовление и грамотную регулировку, собранный усилитель не дает требуемых качественных показателей. Это может про-

являться в недостаточной выходной мощности, или недостаточной полосе пропускания, или в большом уровне фона и т. п. Поэтому ниже рассматриваются некоторые способы доведения параметров усилителя до расчетных.

Увеличение выходной мощности и снижение нелинейных искажений при однотактном оконечном каскаде, собранном по обычной схеме, может быть достигнуто в том случае, если перемотать выходной трансформатор и, сделав отвод от первичной обмотки, применить ультралинейное включение лампы. Эта мера обычно позволяет при правильном подборе отвода снизить нелинейные искажения в 2,5—3 раза. Чтобы правильно выбрать место подключения экранирующей сетки, нужно сделать несколько отводов от первичной обмотки выходного трансформатора. Однако нужно помнить, что при ультралинейном включении чувствительность оконечного каскада, а следовательно, и всего усилителя, уменьшается. Поэтому одновременно придется увеличить усиление предварительных каскадов вплоть до замены двойного триода на триод — пентод (если в схеме применена лампа 6Н1П или 6Н2П).

Когда коэффициент нелинейных искажений лишь незначительно превышает норму (на 15—20%), можно ограничиться отключением блокировочного конденсатора в цепи катода оконечной лампы. При этом каскад окажется охваченным отрицательной обратной связью и нелинейные искажения уменьшатся. В этом случае также придется увеличивать усиление предварительных каскадов.

Неискаженная выходная мощность оконечного каскада, как правило, гораздо меньше зависит от анодного напряжения, чем от напряжения на экранирующей сетке. Повышение этого напряжения приводит к некоторому увеличению отдаваемой мощности Однако следует помнить, что выход из строя лампы оконечного каскада гораздо чаще происходит из-за перегрузки экранирующей сетки, чем из-за перегрузки анода. Поэтому при необходимости немного повысить отдаваемую мощность можно допустить повышение коэффициента использования оконечной лампы, доведя напряжение на ее экранирующей сетке до 0,9 от предельного значения.

Все изложенное относится и к двухтактному оконечному каскаду. Однако здесь большой коэффициент нелинейных искажений может быть вызван асимметрией его плеч из-за неидентичности оконечных ламп или выходных напряжений фазоинверсного каскада, а также из-за асимметрии половин первичной обмотки выходного трансформатора.

Чтобы определить степень асимметрии первичной обмотки выходного трансформатора, нужно отключить его от схемы и подать на вторичную обмотку напряжение 1—2 *в* частоты 1 000 *гц* от самого низкоомного выхода звукового генератора и при помощи лампового вольтметра тщательно измерить напряжение на половинках первичной обмотки. Если будет обнаружена разница напряжений, то трансформатор придется перемотать. Для снижения разброса в числе витков половин первичной обмотки следует наматывать ее секционно. Для этого каркас трансформатора делят дополнительной третьей щечкой пополам и наматывают обе половины обмотки одновременно в два провода.

При любых обстоятельствах нужно стремиться использовать в оконечном каскаде лампы из одной партии, а еще лучше — из одной коробки. Применять лампы разных годов выпуска или производства

разных заводов крайне нежелательно. Если есть возможность, нужно отобрать из некоторого числа ламп две лампы с одинаковым (или очень близким) значением анодного тока в статическом режиме. Это можно сделать либо на специальном измерителе ламп, либо в своем усилителе при помощи миллиамперметра, включенного в анодную цепь. Очень полезно отобрать не две, а четыре лампы, чтобы при выходе из строя одной из них можно было заменить ее запасной

Небольшая асимметрия ламп в динамическом режиме может быть устранена путем регулировки напряжения смещения одной из них, для чего резистор автоматического смещения этой лампы на время регулировки заменяют потенциометром

Асимметрию выходных напряжений фазоинвертора обычно устраняют более тщательной его регулировкой Попутно следует отметить, что фазоинвертор может быть причиной и недостаточной выходной мощности оконечного каскада Это происходит в том случае, когда максимальное выходное неискаженное напряжение фазоинвертора недостаточно для раскачки ламп оконечного каскада.

Расширение полосы пропускания требуется в том случае, если в одном из участков схемы происходит завал характеристики Может оказаться, что таких участков несколько и к каждому из них придется применить свои методы для расширения полосы пропускания.

В первую очередь проверяют оконечный каскад, для чего сигнал от генератора подают на управляющую сетку лампы оконечного каскада и снимают его частотную характеристику. Если выходной каскад двухтактный, сигнал к его сеткам надо подводить от симметричного выхода звукового генератора через разделительные конденсаторы. Использовать для этой цели вспомогательный переходный трансформатор недопустимо. При снятии частотной характеристики необходимо все время следить за формой напряжения на выходе. Частоты, на которых искажения формы превышают допустимые, не могут считаться входящими в полосу пропускания.

Если выяснится, что полоса пропускания оконечного каскада ограничена на участке низших звуковых частот или что на этих частотах нелинейные искажения слишком велики, это указывает на малую индуктивность первичной обмотки выходного трансформатора, устранить которую можно только переделкой трансформатора В этом случае нужно применить железо большего сечения и увеличить на 30—50% число витков обеих обмоток, сохраиив неизменным коэффициент трансформации Недостаточная индуктивность первичной обмотки двухтактных трансформаторов может оказаться и в том случае, если сердечник трансформатора собран с зазором.

Причиной ограничения частотной характеристики оконечного каскада в области высших звуковых частот могут быть значительные поля рассеяния выходного трансформатора или появление паразитной частотнозависимой отрицательной обратной связи, снижающей коэффициент усиления на этих частотах.

Большие поля рассеяния трансформатора могут быть уменьшены только изменением его конструкции и перемоткой (секционированная намотка, применение ленточных сердечников и т. д.), а паразитная обратная связь — более рациональным монтажом и соответствующей экранировкой.

Фазоинвертор, как правило, не вносит частотных искажений. Однако полезно снять отдельно и его частотную характеристику.

Если полоса пропускания фазоинвертора недостаточна, то необходимо тщательно проверить номиналы всех переходных конденсаторов каскада и убедиться в отсутствии ошибок монтажа.

В предварительных каскадах на резисторах завал характеристики в области низших звуковых частот определяется исключительно малой емкостью переходных конденсаторов и устраняется увеличением их емкости. Завал характеристики на высших звуковых частотах устраняется уменьшением паразитной емкости монтажа и частотнозависимой отрицательной обратной связи. Для этого есть только один путь — более рациональный монтаж и экранирование. При больших сопротивлениях резисторов анодной нагрузки можно рекомендовать уменьшить их до 47—82 *ком* для триодов и до 120—150 *ком* для пентодов.

В усилителях записи и воспроизведения магнитофонов частотная характеристика усилителя зависит от параметров воспроизводящей и записывающей головок и корректируется специальными цепями.

Полоса пропускания усилителя в целом непосредственно связана с параметрами цепей регулирования тембра, которые будут рассмотрены отдельно. Заметим только, что если в усилителе имеется всего один регулятор тембра высших частот, то он может вызвать завал частотной характеристики усилителя при недостаточном его сопротивлении. В этом случае даже при полностью введенном сопротивлении цепь регулятора тембра шунтирует нагрузку и уменьшает усиление на высших частотах. Если при отпаивании такого регулятора частотная характеристика усилителя расширится, необходимо увеличить сопротивление потенциометра регулятора тембра до 0,47—1 *Мом*. У регуляторов тембра, помещенных в цепи обратной связи, эта мера ничего не даст. В таких случаях нужно уменьшать емкость конденсатора, через который снимается напряжение обратной связи, хотя при этом несколько изменятся пределы регулирования.

Расширить пределы регулирования тембра можно, если соответствующим образом изменить номиналы резисторов и конденсаторов, входящих в схему регуляторов. При этом необходимо иметь в виду следующее. Если регулятор тембра собран по простейшей схеме и предназначен для ослабления усиления на краях частотной характеристики, то можно изменить только глубину этого ослабления, но одновременно изменится и граничная частота, до которой заметно влияние регулятора. Для высокочастотного регулятора тембра увеличение емкости его конденсатора приводит к ослаблению усиления на высших частотах и одновременно к смещению граничной частоты в сторону более низких частот. Для низкочастотного регулятора, работающего по такому же принципу, уменьшение емкости конденсатора, включенного последовательно с переходным конденсатором и замыкаемого потенциометром регулятора, также приводит к ослаблению усиления на низших частотах и одновременно к смещению граничной частоты в сторону высших частот.

Если регуляторы тембра усилителя выполнены по типовой схеме (рис. 19, *б*), позволяющей осуществлять как подъем, так и завал частотной характеристики раздельно на высших и низших звуковых частотах, то степень завала частотной характеристики на высших частотах можно увеличить изменением емкости конденсатора C_7, которая может быть доведена до 0,02 *мкф* в ламповых схемах и до

1—2 *мкф* в транзисторных, а степень подъема на высших частотах — увеличением емкости конденсатора C_6 до 150—250 *пф* в ламповых схемах и до 4 700—5 100 *пф* в транзисторных. Глубину регулирования низкочастотным регулятором тембра можно увеличить, уменьшая сопротивления резисторов R_4 и R_6. Частоту раздела регуляторов и степень их взаимного влияния можно менять путем изменения сопротивления резистора R_7.

В регуляторах тембра, построенных на принципе изменения величины обратной связи, пределы регулирования можно изменять, меняя параметры цепи обратной связи. Однако в этом случае нельзя дать конкретных рекомендаций, так как схем регулирования тембра с использованием обратной связи довольно много и все они весьма индивидуальны.

Для уменьшения уровня фона и собственных шумов необходимо прежде всего выявить его источник, которым обычно бывает входной каскад усилителя Чтобы убедиться в этом, достаточно вынуть из панельки первую лампу усилителя или, если первый каскад собран на половине сдвоенной лампы, замкнуть через электролитический конденсатор емкостью 150—250 *мкф* анод первого триода на шасси. Пропадение фона при этом подтвердит, что источник фона — первый каскад.

Дальше надо выяснить причину появления фона. Начать нужно с отключения цепи питания нити накала. Для этого оба провода цепи питания нити накала отпаивают от панельки лампы и на их место припаивают два небольших проводника, которые соединяют с накальной обмоткой трансформатора питания через двухполюсный тумблер. Затем, включив тумблером накал дожидаются, пока лампа проверяемого каскада достаточно прогреется и, следя за стрелкой прибора, измеряющего уровень фона на выходе усилителя, выключают тумблер. Если при этом в первый момент уровень фона резко уменьшится и станет в пределах нормы, значит источником фона является цепь питания нити накала лампы. В этом случае необходимо испробовать следующие меры:

подключить нить накала лампы первого каскада к отдельной обмотке трансформатора питания с применением специального делителя и балансировочного потенциометра;

отобрать специально лампу для первого каскада, имеющую минимальный уровень собственного фона;

снизить напряжение накала первой лампы с 6,3 до 5,6 *в*;

перевести питание нити накала первой лампы на постоянный ток.

Другим источником фона может быть цепь питания анода и экранирующей сетки первой лампы. В этом случае устранить фон можно добавлением в цепь анодного питания лампы *RC*-фильтра, состоящего из резистора сопротивлением 30—50 *ком* и электролитического конденсатора емкостью 150—250 *мкф*.

Значительно труднее бороться с фоном, вызванным блуждающими токами в шасси. В этом случае прежде всего нужно привести в порядок монтаж входной цепи и тщательно проверить, не использовано ли где-нибудь шасси в качестве нулевого провода этих цепей. При обнаружении двух или нескольких точек заземления во входной цепи их нужно устранить. Если эти меры не помогут, нужно полностью освободить шасси от блуждающих токов, для чего прежде всего перемонтируют цепь питания нитей накала всех ламп, осуществив ее двумя отдельными незаземленными проводами. Когда и эта мера окажется недостаточной, придется освободить шасси от всех соединенных с ним цепей. При этом нужно будет вдоль всех ламп проложить специальную «земляную» шину, представляющую собой отрезок толстой медной или посеребренной проволоки, закрепленной на изоляторах, к которой подсоединяют все «заземляемые» точки схемы, а саму шину соединить с шасси в одной точке, возможно дальше от первой лампы. Заземляемые выводы резисторов утечки управляющей сетки и автоматического смещения первой лампы, а также нулевой провод входной цепи нужно соединить вместе и «заземлить» в одной точке либо на общую шину, либо на шасси. Точку «заземления» выбирают опытным путем по минимуму фона на выходе усилителя.

Увеличение чувствительности усилителя может потребоваться после приведения к норме всех его параметров (повышения выходной мощности, снижения нелинейных искажений, расширения полосы пропускания и т. п.). Можно предложить несколько способов повышения чувствительности, основанных на увеличении коэффициента передачи каскада. Наиболее простой из них состоит в устранении отрицательной обратной связи любого из каскадов предварительного усиления путем блокирования резистора в цепи катода лампы конденсатором большой емкости (если, разумеется, в схеме есть каскады, охваченные обратной связью), что дает увеличение усиления в 1,5—2,5 раза. К оконечному однотактному каскаду этот способ применять не следует, так как могут заметно возрасти нелинейные искажения. Совершенно недопустимо применять этот способ к одному из двух триодов фазоинвертора, собранного на двух лампах.

Второй, менее эффективный способ, состоит в увеличении сопротивления резистора анодной нагрузки каскада в 1,5—2 раза. Это возможно лишь в том случае, если напряжение на аноде лампы при этом не понизится настолько, что приведет к появлению нелинейных искажений. Когда в схеме имеется несколько каскадов предварительного усиления, лучше одновременно увеличить сопротивления резисторов анодных нагрузок во всех каскадах. При этом вместе с увеличением сопротивления анодной нагрузки нужно изменить и напряжение смещения на управляющей сетке с тем, чтобы рабочая точка осталась на середине прямолинейного участка характеристики лампы. При значительном увеличении сопротивлений анодной нагрузки необходимо проверить, не привело ли это к ослаблению усиления в области высших звуковых частот и не нарушились ли пределы регулирования тембра.

Если весь усилитель охвачен частотнозависимой отрицательной обратной связью, его чувствительность можно увеличить уменьшением глубины обратной связи. Для этого в цепь обратной связи достаточно ввести последовательно резистор, сопротивление которого подбирают опытным путем.

Значительно реже возникает необходимость уменьшить чувствительность усилителя. В таком случае достаточно произвести обратные действия, т. е. охватить несколько или все каскады отрицательной обратной связью по току, удалив блокирующие конденсаторы из цепей автоматического смещения, уменьшить сопротивления резисторов анодных нагрузок каскадов предварительного усиления, и т. д.

КОНСТРУИРОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Усвоив изложенный в предыдущих разделах материал книги, радиолюбитель сможет создать тот или иной усилитель, составить его блок-схему, выбрать типы и количество ламп или транзисторов, составить полную принципиальную схему и выбрать тип и конструкцию акустического агрегата. Как пользоваться приведенным материалом, будет понятно на примере конструирования усилителя с параметрами III группы.

Параметры и блок-схему усилителя выбирают в зависимости от его назначения. Допустим, что нужно построить стационарный усилитель для прослушивания грамзаписей в жилой комнате площадью 16 *м*². Радиолюбитель располагает стандартным трехскоростным проигрывателем для прослушивания обычных и долгоиграющих грампластинок.

С чего же начать конструирование, располагая этими сведениями?

В этом случае надо исходить из предположения, что усилитель должен полностью реализовать возможности и параметры, заложенные в источнике низкочастотных сигналов, подлежащих усилению. В данном случае таким источником является граммофонная пластинка, а не звукосниматель, как ошибочно полагают некоторые радиолюбители. Ширина полосы воспроизводимых звуковых частот и динамический диапазон звучания не могут быть сделаны больше, чем заложено в грампластинке. В то же время путем применения специальных схемных решений (резонансные фильтры, частотнозависимая обратная связь) можно искусственно расширить полосу воспроизводимых частот, даже если звукосниматель значительно ослабляет усиление на границах звукового диапазона грампластинки. Таким образом, мы знаем два параметра будущего усилителя — полосу воспроизводимых звуковых частот и динамический диапазон, определяемые применением долгоиграющих грампластинок.

Динамический диапазон грамзаписи — это отношение самого громкого звука к самому слабому. Самым слабым звуком при воспроизведении грамзаписи считают тот посторонний шум, который вызван трением иглы звукоснимателя о неровности структуры звуковой дорожки при отсутствии записи (так называемые немые канавки). Этот шум имеет постоянную величину и занимает широкий спектр частот. Современные долгоиграющие грампластинки записаны с полосой частот от 40 до 14 000 *гц* и динамическим диапазоном около 60 *дб*. Следовательно, усилитель для электропроигрывателя должен иметь параметры, соответствующие первой группе (табл. 1). В этом случае он должен будет иметь выходную мощность не менее 10 *вт*, так как акустическая система меньшей мощности не сможет обеспечить соответствующий динамический диапазон звучания.

В то же время мы знаем, что проектируемый усилитель должен озвучивать комнату площадью в 16 *м*². Согласно той же классификации такой усилитель должен иметь выходную мощность 2—4 *вт*, что соответствует второй группе.

При таких противоречиях, которые, кстати говоря, имеются почти во всех случаях проектирования усилителей, в серийной промышленной аппаратуре обычно идут на неиспользование возможностей источника низкочастотных сигналов.

В радиолюбительской практике, где вопрос качества главенствует над стоимостью, целесообразнее создать конструкцию, в которой часть параметров будет соответствовать одной группе, а часть — другой.

В нашем примере нужно сделать усилитель, пропускающий полосу частот, соответствующую возможностям долгоиграющих грампластинок, имеющий уровень собственного фона не хуже минус 60 *дб*, а выходную мощность порядка 3—4 *вт*.

При этом нелинейные искажения, соответствующие номинальной выходной мощности, также должны иметь величину, предусмотренную для усилителей первой группы, т. е. порядка 2—3%.

В результате такого предварительного анализа можно определить блок-схему конструируемого усилителя и его параметры:

неискаженную выходную мощность выбираем 4 *вт;*

допустимые нелинейные искажения при этой мощности не должны превышать 2—3%;

полоса пропускания частот должна быть от 40 до 15 000 *гц;*

чувствительность со входа на частоте 1 000 *гц* — не хуже 0,2 *в* (стандартная чувствительность усилителя при воспроизведении грамзаписи);

уровень фона — минус 60 *дб*;

чтобы сохранить естественность звучания при любой громкости, нужно применить тонкомпенсированный регулятор громкости;

регуляторы тембра должны быть плавными и раздельными для низших и высших звуковых частот;

акустическая система должна быть широкополосной и малогабаритной, поскольку предназначается для небольшой комнаты.

Первые два параметра могут быть удовлетворены только при двухтактной схеме оконечного каскада с ультралинейным включением ламп. В то же время небольшая выходная мощность позволяет применить маломощные оконечные лампы. Очевидно, что оконечный каскад, удовлетворяющий указанным требованиям, может быть собран на двух лампах 6Ф3П.

Для реализации выбранной полосы частот необходим выходной трансформатор с большой индуктивностью первичной обмотки, малой индуктивностью рассеяния и, кроме того, с высокой степенью идентичности первичных обмоток для получения небольших нелинейных искажений Наиболее подходящим следует считать трансформатор, намотанный секционно

Для заданной чувствительности усилителя сделаем прикидочный расчет. Каждая из ламп 6Ф3П, кроме оконечного пентода, имеет еще триод для предварительного усиления, рассчитанный на использование совместно с пентодной частью. Такой двухламповый усилитель может иметь стандартную чувствительность порядка 0,1—0,2 *в* и мог бы удовлетворить нашим требованиям по чувствительности. Однако в проектируемом усилителе решено применить ультралинейное включение оконечных ламп, что снижает их чувствительность приблизительно в 1,5 раза. Применение раздельных регуляторов тембра потребует еще 15—20-кратного запаса по усилению Тонкомпенсированный регулятор громкости, имеющий коэффициент передачи порядка 0,3—0,5, также потребует увеличения усиления в 2—3 раза. Следовательно, необходимо повысить усиление в $1{,}5\times20\times3=$ $=90$ раз. Такое усиление мог бы дать каскад предварительного усиления на пентоде 6Ж1П, однако целесообразней применить пентод-

триод 6Ф1П. При этом общее количество ламп (баллонов) в схеме не увеличится, но на пентодной части этой лампы можно собрать каскад предварительного усиления с коэффициентом передачи больше 100 (см. рис. 12), а триодную часть использовать в качестве фазоинвертора с разделенной нагрузкой (см. рис. 7), обладающего большой стабильностью, низким выходным сопротивлением и малой зависимостью симметрии выходных напряжений от параметров лампы. Однако наряду с достоинствами такой фазоинвертор обладает значительным недостатком — невозможностью получить большие выходные напряжения при сравнительно низком анодном напряжении,

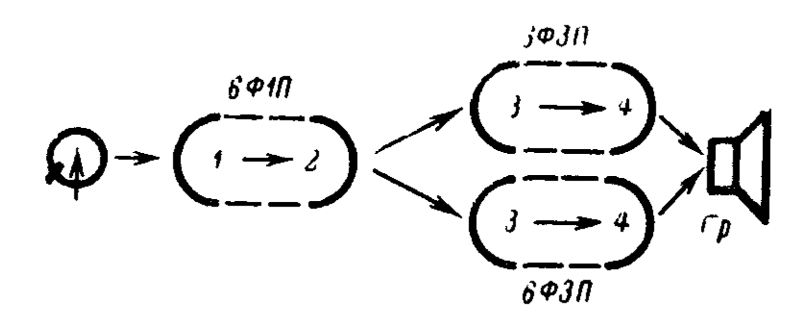


Рис. 30. Блок-схема усилителя.

1 — каскад предварительного усиления; *2* — фазоинвертор; *3* — предоконечный каскад; *4* — двухтактный оконечный каскад.

что не позволяет получить от оконечного каскада необходимую выходную мощность при малых нелинейных искажениях.

В нашем случае это затруднение легко обойти, если между фазоинвертором и оконечным каскадом включить предоконечный каскад, который может быть собран на триодах ламп 6Ф3П. Тогда блок-схема усилителя примет вид, показанный на рис. 30.

Для обеспечения малого уровня фона нити накала ламп нужно питать от отдельных обмоток трансформатора питания, как это показано на схеме рис. 16, а также получить достаточную фильтрацию напряжения путем применения в фильтре выпрямителя конденсаторов с большой емкостью.

Регулятор громкости можно собрать по схеме на рис. 17, *г*, а регуляторы тембра — по схеме на рис. 19, *б*.

Составление принципиальной схемы начинаем с оконечного каскада. Возьмем за основу схему, изображенную на рис 3, *б*. Так как при ультралинейном включении напряжение на экранирующих сетках оказывается почти равным анодному напряжению, а предельное напряжение на этих сетках для ламп 6Ф3П равно 170 *в*, необходимо включить в цепь каждой из них последовательно гасящие резисторы, сопротивление которых берем из табл. 3. Требуемые в этом случае блокирующие конденсаторы включать между экранирующими сетками и шасси недопустимо, так как нарушатся цепи отрицательной обратной связи, представляющие собой неотъемлемую часть ультралинейного режима. Включать блокировочные конденсаторы нужно параллельно гасящим сопротивлениям. По конструктивным соображениям применять здесь электролитические конденсаторы неудобно, поэтому можно ограничиться бумажными конденсаторами МБГП емкостью по 4 *мкф* на рабочее напряжение 160 *в*.

В качестве предоконечных каскадов мы решили использовать триодные части ламп 6Ф3П. Эту часть схемы можно собирать в соответствии с рис. 10. Так как при выбранной блок-схеме и лампах мы располагаем некоторым запасом по усилению, имеет смысл изъять блокирующие электролитические конденсаторы из катодной цепи, а два последовательно включенных резистора R_2 и R_3 заменить одним. При этом каскад окажется охвачен отрицательной обратной связью по току, что уменьшит вносимые им нелинейные искажения, могущие оказаться значительными при больших амплитудах выходного напряжения.

Между первым и вторым каскадами предварительного усиления включаем регуляторы тембра, а на входе первого каскада — тонкомпенсированный регулятор громкости.

Остается дополнить схему выпрямителем и специальным делителем цепи накала первой лампы, и полная принципиальная схема составленного таким образом усилителя примет вид, показанный на рис. 31.

Легко видеть, что все величины элементов схемы в этом случае не пришлось рассчитывать — они заимствованы из типовых схем каскадов. Точно так же можно составить и любую другую схему усилителя.

Акустическую систему выбирают, исходя из выходной мощности усилителя 4 *вт*. Для избежания искажений при пиковых перегрузках акустическая система должна быть рассчитана на номинальную мощность 5—6 *вт*. Так как конструктивно акустический агрегат должен быть малогабаритным, необходимо принять меры, позволяющие при малом объеме акустической камеры достаточно эффективно воспроизводить низшие звуковые частоты. Для наших условий наиболее приемлемой оказывается конструкция акустического столика, состоящего из трех параллельно включенных широкополосных громкоговорителей, 2ГД-3 и двух выносных высокочастотных громкоговорителей 1ГД-18. Подробные указания по изготовлению этой конструкции приведены на стр. 51—52.

Конструктивное оформление усилителя может быть произвольным. Один из наиболее удачных вариантов состоит в размещении усилителя внутри столика, вплотную к одной из боковых стенок его футляра.

Чертеж шасси и его основные размеры для такого варианта показаны на рис. 32. Основное, на что надо обратить внимание — это надежное механическое крепление всех деталей усилителя, в том числе резисторов и конденсаторов. Такое требование вызвано тем, что усилитель находится внутри акустического агрегата и при номинальной выходной мощности может оказаться источником дребезжаний. Для предотвращения этого весь монтаж целесообразно выполнить на изоляционной планке, а шасси усилителя прикрепить к дну футляра через резиновые амортизаторы. Удлинители осей регуляторов громкости и тембра желательно пропустить через переднюю отражательную доску не непосредственно, а сквозь специальные резиновые или войлочные втулки.

В заключение приводятся данные трансформатора питания для усилителя. Сердечник собран из пластин УШ-22, толщина набора 47 *мм*. Первичная обмотка содержит 800 витков провода ПЭЛ 0,51

Рис. 31. Принципиальная схема усилителя.

с отводами от 400-го и 462-го витков. Повышающая обмотка содержит 820 витков провода ПЭЛ 0,35 *м*. Накальная обмотка для ламп 6Ф3П имеет 25 витков провода ПЭЛ 1,25, а обмотка накала лампы 6Ф1П — 25 витков провода ПЭЛ 0,44. Данные выходного трансформатора, способ его намотки и сборки приведены на

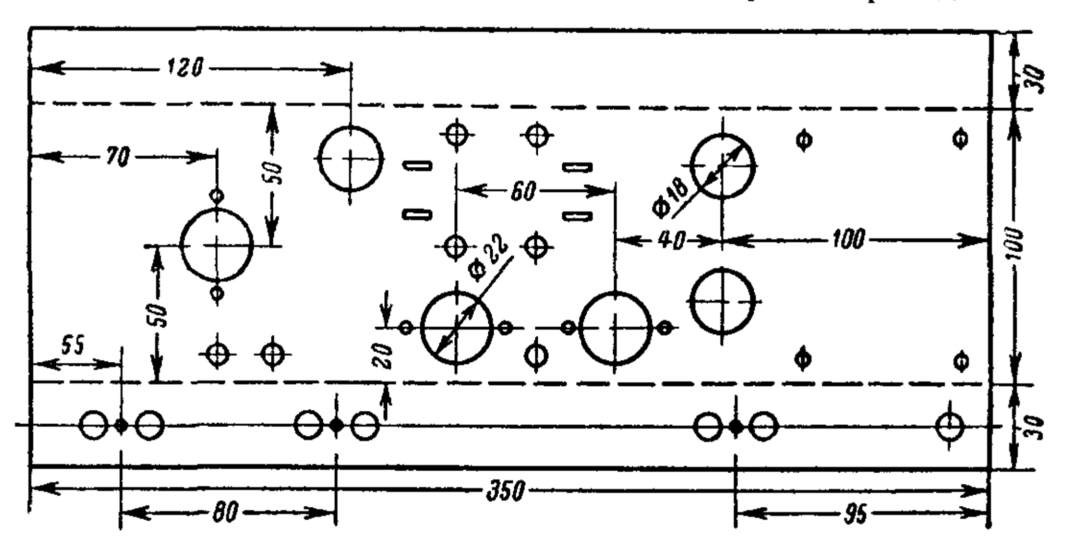


Рис. 32. Конструкция и основные размеры шасси усилителя.

стр. 15. Оптимальный отвод от вторичной обмотки выходного трансформатора к громкоговорителям *Гр*₃, *Гр*₄ и *Гр*₅ подбирают по максимальной неискаженной выходной мощности. В случае необходимости уменьшить чувствительность усилителя создают допол-

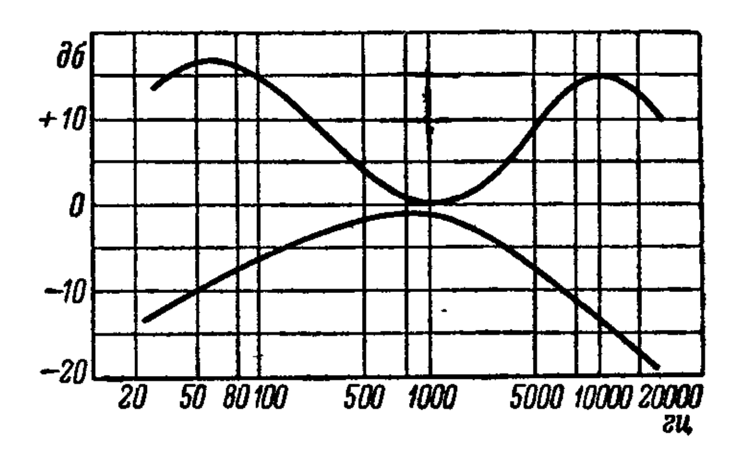


Рис 33. Частотные характеристики усилителя при различных положениях регуляторов тембра.

нительную цепь отрицательной обратной связи со вторичной обмотки выходного трансформатора на катод первой лампы через регулируемый резистор R_{10} и подбором его устанавливают уровень чувствительности усилителя. На рис. 33 приведена сквозная частотная характеристика усилителя при максимальной громкости и различных положениях регуляторов тембра.

САМОДЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ УСИЛИТЕЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Двухканальный усилитель

Усилитель низкой частоты, качественные показатели которого удовлетворяют любым требованиям радиолюбителя, имеет семь ламп, довольно сложную схему, три трансформатора и ряд дорогостоящих деталей. Для реализации всех электрических параметров он требует сложную и дорогую акустическую систему и поэтому может быть рекомендован лишь тем радиолюбителям, которые хотят построить действительно высококачественную низкочастотную установку, не считаясь с затратами.

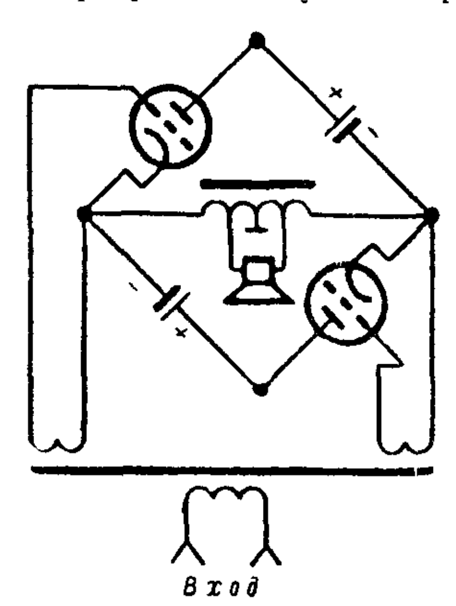


Рис. 34. Эквивалентная схема двухтактно-параллельного каскада.

Усилитель дает выходную мощность примерно 20 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений, не превышающем 1%, и воспроизводит полосу частот от 30 до 16 000 *гц*.

Оконечный каскад канала низших звуковых частот построен по двухтактно-параллельной схеме, где выходные лампы $Л_4$ и $Л_5$ по постоянному току включены последовательно, а по переменному — параллельно. Принцип работы такого каскада поясняется эквивалентной схемой (рис. 34), из которой видно, что обе лампы и два источника питания образуют симметричный мост. В одну из диагоналей моста включено сопротивление нагрузки. Благодаря этому постоянная составляющая анодного тока протекает по замкнутой цепи через плечи моста и не ответвляется в его диагональ, т. е. в нагрузку. С принципиальной точки зрения заземлять среднюю точку нагрузки совершенно не обязательно, однако заземление сделано по чисто конструктивным соображениям из-за того, что как и в обычном двухтактном каскаде на сетки ламп нужно подать противофазные напряжения. Эта схема выгодно отличается от обычной двухтактной еще и тем, что, во-первых, при параллельном включении ламп (по переменному току) общее внутреннее сопротивление каскада оказывается в четыре раза меньше, чем у обычного двухтактного, и, во-вторых, отсутствие постоянной составляющей в цепи нагрузки не уменьшает анодного напряжения ламп и позволяет снимать неискаженный сигнал даже при самых больших амплитудах (разумеется, в пределах прямолинейного рабочего участка характеристики ламп). Наконец, поскольку нагрузка включена между катодами ламп, оконечный каскад работает в режиме катодного повторителя, благодаря чему он оказывается охваченным глубокой отрицательной обратной связью, резко снижающей коэффициент нелинейных искажений. Кроме того, низкое выходное сопротивление, присущее катодным повторителям, дает возможность неискаженно воспроизводить самые низшие частоты при сравнительно небольшой

индуктивности согласующего автотрансформатора и расширить полосу воспроизведения в сторону высших частот.

Двухтактно-параллельная схема, как и всякая другая, имеет свои недостатки. Один из них заключается в необходимости иметь в усилителе два отдельных выпрямителя для питания оконечных ламп и еще один выпрямитель для питания остальных ламп усилителя. Второй недостаток состоит в том, что для нормальной работы оконечного каскада необходимо напряжение раскачки порядка 50—80 *в*. Однако эти недостатки не столь существенны. Что касается выпрямителей, то хотя их и нужно сделать три вместо одного, схема и

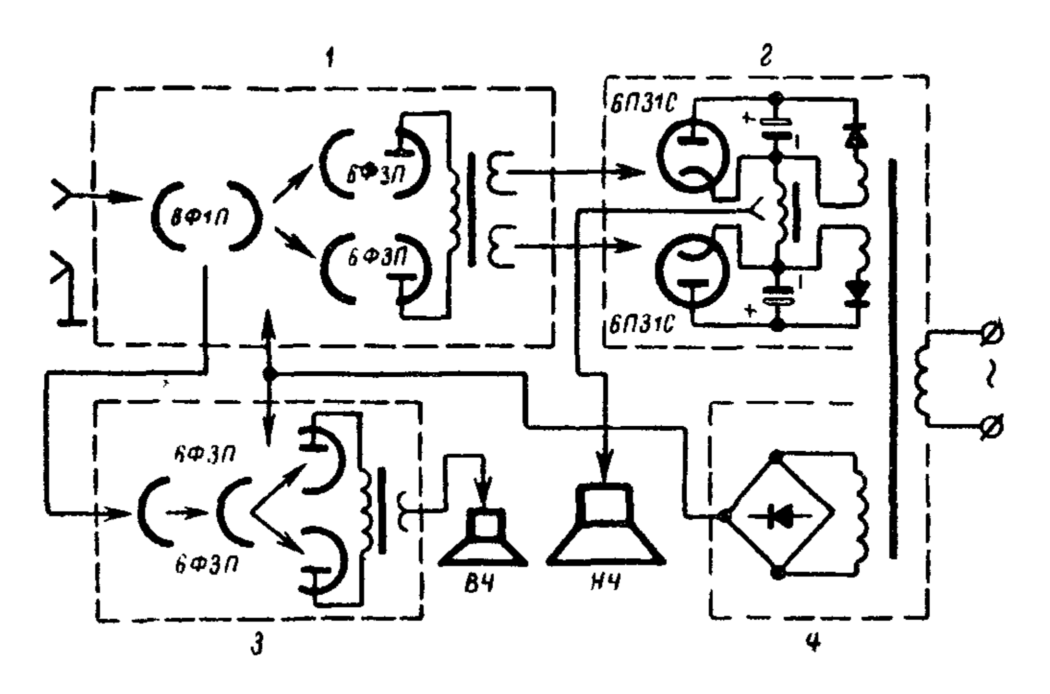


Рис. 35. Блок-схема двухканального усилителя.

1 — предварительный усилитель; *2* — оконечный усилитель с выпрямителями; *3* — усилитель высокочастотного канала; *4* — блок питания.

конструкция их усложняются очень незначительно. Это объясняется низкими требованиями к фильтрации выпрямленного напряжения для симметричной схемы, что позволяет применить простейшую однополупериодную схему выпрямления с одним конденсатором фильтра на его выходе. Выпрямитель для предварительных каскадов благодаря незначительному потребляемому току может быть выполнен по любой схеме.

Таким образом, применение двухтактно-параллельной схемы ненамного усложнит конструкцию по сравнению с обычным широкополосным высококачественным усилителем. Здесь не сделано попытки предельно удешевить и упростить конструкцию. Дело в том, что радиолюбитель, не имеющий достаточного опыта, редко возьмется сразу за постройку сложного усилителя. Поэтому собирать такой усилитель следует радиолюбителям, изготовившим до этого не одну конструкцию.

Из блок-схемы (рис. 35) видно, что усилитель состоит из четырех самостоятельных блоков Первый из них, который условно можно назвать предварительным усилителем, представляет собой

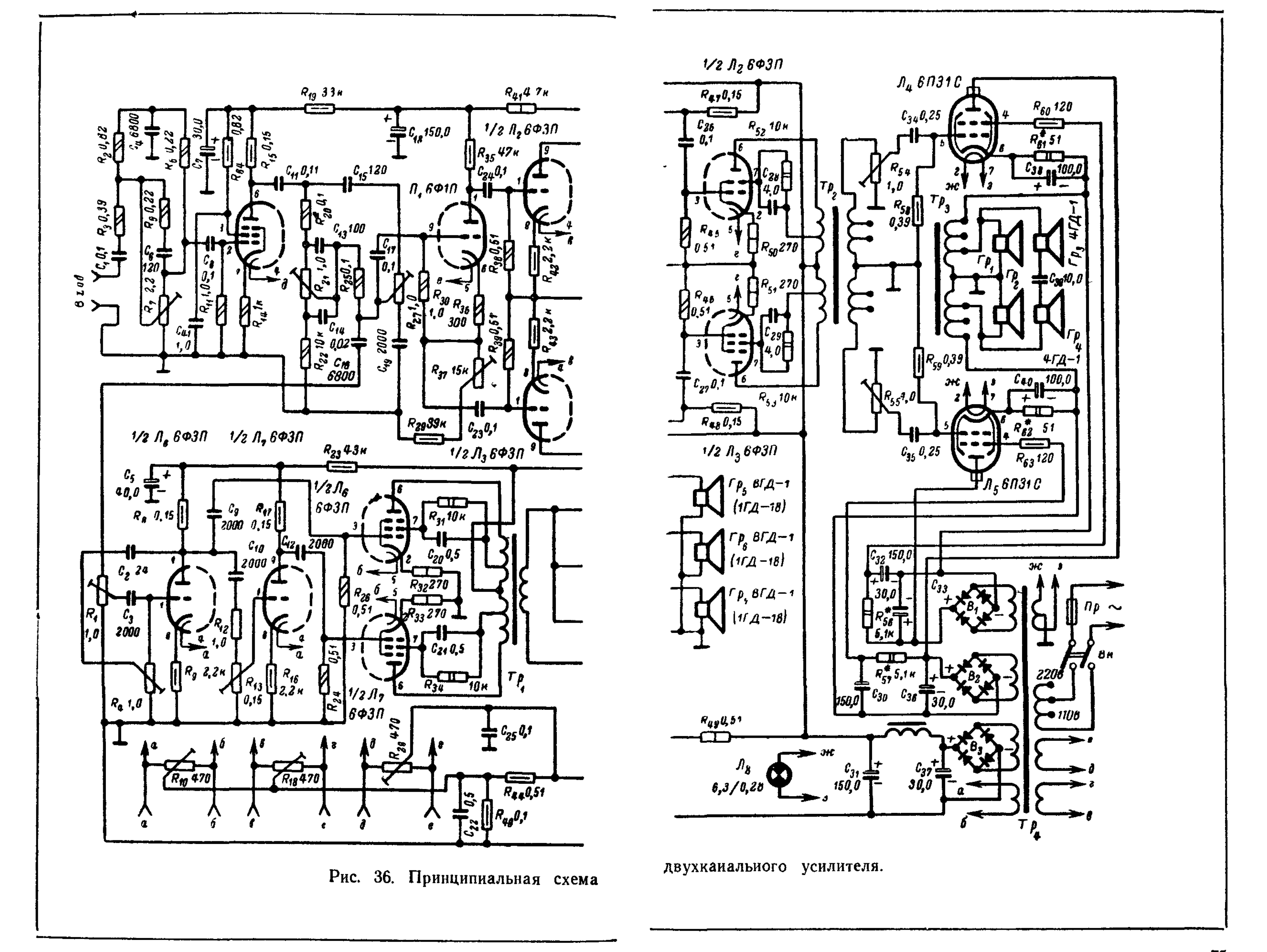


Рис. 36. Принципиальная схема двухкаиальиого усилителя.

стандартный усилитель низкой частоты. Второй блок включает в себя оконечный двухтактно-параллельный каскад с собственными выпрямителями; третий блок — также стандартный усилитель низкой частоты, используемый в качестве высокочастотного канала; четвертый блок — обычный выпрямитель для питания остальных каскадов установки.

При таком решении усилитель (хотя и выглядит довольно сложным) прост в сборке и регулировке, поскольку каждый из его блоков может быть собран и отрегулирован самостоятельно.

В качестве предварительного усилителя (рис. 36) использована конструкция, описанная в предыдущей главе. Если не нагружать этот усилитель на громкоговорители и соответственно перемотать вторичные обмотки его выходного трансформатора, то на них можно получить неискаженные выходные напряжения, необходимые для раскачки ламп оконечного двухтактно-параллельного каскада.

Фазоинвертор, каскады предварительного усиления, цепи регулирования громкости и тембра остаются без изменений. Единственное отличие усилителя состоит в том, что часть сигнала с регулятора тембра высших частот ответвляется в высокочастотный канал.

Так как для получения минимальных нелинейных искажений важна очень высокая степень симметрии напряжений раскачки ламп оконечного каскада, вторичные обмотки трансформатора $Тр_2$ нагружены на регулировочные потенциометры R_{54} и R_{55}.

Оконечный двухтактно-параллельный каскад собран на лампах 6П31С и отдает 25 *вт* неискаженной выходной мощности. Если ограничиться выходной мощностью 15 *вт*, то можно использовать лампы 6П3С, а при мощности 10 *вт* — лампы 6П14П. Во всех этих случаях схема оконечного каскада и согласующий автотрансформатор не изменятся, но при регулировке усилителя нужно будет подобрать оптимальные отводы для подключения катодов оконечных ламп. Кроме того, потребуется подобрать наиболее подходящий отвод у вторичных обмоток трансформатора $Тр_2$.

Выпрямители для оконечного каскада выполнены по мостовой схеме на селеновых столбиках АВС-80-260. Вместо них можно применить диоды Д7Ж, собранные по мостовой схеме, что на качестве работы усилителя не отразится.

Нужно обратить особое внимание на то, что конденсаторы фильтра этих выпрямителей не соединены с шасси усилителя и их необходимо прикреплять к шасси через изолирующие прокладки, а при работе с усилителем соблюдать осторожность.

Усилитель высокочастотного канала собран на двух лампах 6Ф3П. Пентодные части этих ламп использованы в двухтактном оконечном каскаде, а триодные — выполняют функции предварительного усилителя и фазоинвертора.

Выходная неискаженная мощность высокочастотного канала около 4 *вт*; полоса пропускания от 5 000 до 20 000 *гц*. Оконечный каскад собран по ультралинейной схеме и охвачен отрицательной обратной связью по току, что позволяет получить указанную мощность при коэффициенте нелинейных искажений примерно 0,6—0,9%.

На входе усилителя имеется регулятор уровня (потенциометр R_{27}), функцию которого выполняет регулятор тембра высших частот основного (низкочастотного) канала. В качестве дополнительного регулятора тембра, работающего на частотах 10 000—14 000 *гц*, использован потенциометр R_4. Необходимость в дополнительной регулировке возникает при усилении звукового сопровождения телевизионных передач или передач УКВ ЧМ радиостанций. Потенциометр R_1 нужен для первоначальной регулировки усилителя (для необходимого соотношения мощностей низкочастотного и высокочастотного каналов)

Блок питания усилителя состоит из трансформатора питания, фильтров для питания анодных цепей и балансировочных потенциометров в цепях питания нитей накала всех ламп для борьбы с фоном переменного тока.

Выпрямитель для каскадов предварительного усиления собран по мостовой схеме на диодах Д7Ж. Фильтр выпрямителя П-образный с дросселем $Др_1$. Электролитические конденсаторы C_{30}—C_{36}, C_{31}—C_{37} и C_{32}—C_{33}, сдвоенные по 150+30 *мкф* на рабочее напряжение 350 или 300 *в*.

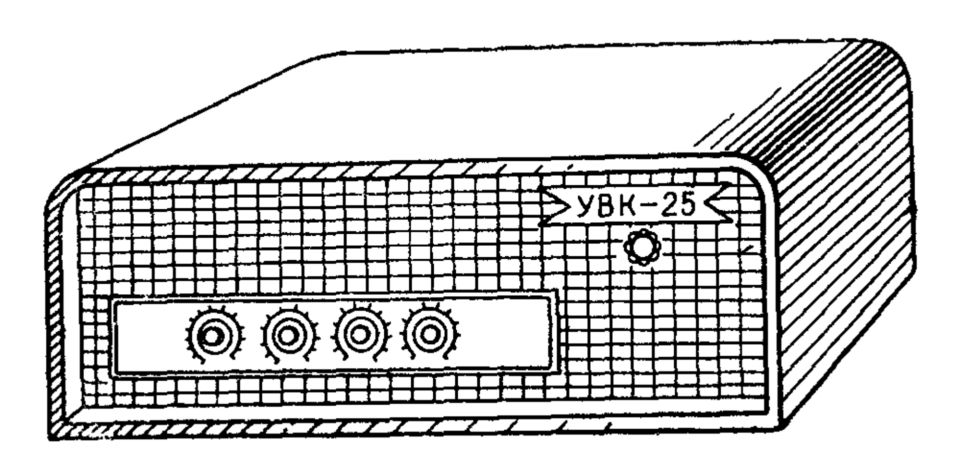


Рис. 37. Вариант внешнего оформления усилителя.

Так как данный усилитель рассчитан на квалифицированных радиолюбителей, здесь не приведены его конструктивные данные, эскизы шасси и т п. Все эти вопросы радиолюбитель сможет разрешить сам в соответствии со своими возможностями, задачами и вкусом.

Если усилитель будет служить самостоятельным устройством, то его целесообразней выполнить в виде отдельной конструкции. В качестве примера на рис. 37 показан вариант внешнего оформления, примененный автором. В других случаях усилитель может входить в состав радиокомбайна или акустической системы.

При изготовлении усилителя особое внимание нужно обратить на монтаж входных цепей для предотвращения и снижения фона. Кроме того, нужно обратить внимание на исключение магнитных наводок от трансформатора питания, а также электростатических наводок от оконечных ламп и согласующего автотрансформатора, применить при конструировании рациональное расположение узлов и ламп, вводя при необходимости магнитную и статическую экранировку.

Налаживание усилителя начинают с проверки правильности монтажа. Затем при вынутых лампах проверяют работу всех выпрямителей и напряжения накала на всех ламповых панельках. После этого вставляют в панельки лампы оконечного двухтактно-параллельного каскада и налаживают его. Для этого в разрыв анод-

ной цепи каждой из ламп включают миллиамперметр со шкалой на 100—200 *ма*, отпаивают выводы первичной обмотки трансформатора Tp_2 и к одной из его секций подключают высокоомный выход звукового генератора. Громкоговорители подключают к любым (обязательно симметричным!) отводам от согласующего автотрансформатора Tp_3, а параллельно одному из низкочастотных громкоговорителей ($Гp_1$ или $Гp_2$) подключают осциллограф и ламповый вольтметр. Потенциометры R_{54} и R_{55} устанавливают в положение, при котором на управляющих сетках оконечных ламп отсутствует сигнал.

Включив усилитель, наблюдают за показаниями миллиамперметров в анодных цепях оконечных ламп. Нормальный ток покоя каждой из ламп 6П31С должен быть порядка 70—75 *ма*. Если эта величина отличается от указанной, то необходимо подобрать сопротивления резисторов R_{61} и R_{62}. Особое внимание нужно обратить на симметрию токов покоя обеих ламп.

После этого нужно проверить токи покоя экранирующих сеток этих ламп. Для этого миллиамперметры включают в разрыв цепи экранирующих сеток между выводами ламповых панелек и резисторами R_{60} и R_{63}. Нормальный ток должен быть в пределах 6—8 *ма*. При отклонении тока от указанного, необходимо подобрать сопротивления резисторов R_{56} и R_{57}. Затем вновь проверить и при необходимости отрегулировать анодные токи ламп, а после этого еще раз проверить токи экранирующих сеток. Возможно, что эту регулировку придется повторить 4—5 раз, пока токи анодов ламп и экранирующих сеток не окажутся в пределах указанных норм и будут одинаковыми для обеих ламп.

После этого приступают к динамической регулировке каскада, оставив в анодных цепях ламп включенные миллиамперметры. Для этого от звукового генератора подают такое напряжение с частотой 1 000 *гц*, чтобы на крайних выводах вторичных обмоток трансформатора Tp_2 по отношению к шасси было напряжение порядка 75—100 *в*. Затем начинают вращать ручку потенциометра R_{54}, наблюдая за формой выходного напряжения по осциллографу. При появлении искажений синусоиды уменьшают снимаемый с потенциометра R_{54} сигнал, вращая его ручку в противоположную сторону до полного исчезновения искажений после чего то же самое проделывают с потенциометром R_{55}. Когда оба потенциометра будут установлены в положения, соответствующие максимальному неискаженному сигналу, замеряют переменное напряжение на громкоговорителях, записывают, каким номерам выводов вторичной обмотки это напряжение соответствует и после этого (предварительно выключив усилитель) переключают громкоговорители к другой паре отводов согласующего автотрансформатора.

Таким же способом определяют максимальное неискаженное выходное напряжение на всех отводах и затем выбирают среди них те, для которых это напряжение оказывается наибольшим. К этим отводам припаивают громкоговорители и всю дальнейшую регулировку ведут, уже не изменяя выбранного оптимального коэффициента трансформации.

Следующий этап регулировки заключается в получении наименьшего коэффициента нелинейных искажений. Для этого параллельно осциллографу и электронному вольтметру подключают измеритель нелинейных искажений и, откалибровав его на частоте 1 000 *гц*, начинают вращать ручку потенциометра R_{54} в сторону увеличения напряжения на оконечной лампе. Если при этом коэффициент нелинейных искажений будет уменьшаться, то ручку поворачивают до получения минимальных искажений. Если же при его вращении искажения будут увеличиваться, а не уменьшаться, то, оставив потенциометр в исходном положении, начинают вращать ручку потенциометра R_{55} до получения минимальных искажений. Добившись минимальных искажений и еще раз тщательно отбалансировав измеритель, определяют величину нелинейных искажений и если она превышает 1%, то необходимо ручки обоих потенциометров (R_{54} и R_{55}) повернуть на 5—10° в сторону уменьшения сигнала и вновь отбалансировать их по минимуму искажений указанным способом. Такую регулировку проделывают до тех пор, пока нелинейные искажения не снизятся до 1%. Нужно предупредить, что такой результат можно получить лишь в том случае, когда сигнал на выходе звукового генератора имеет коэффициент нелинейных искажений ниже 1%. В противном случае искажения на выходе усилителя также будут выше этого значения при любой мощности. Перед регулировкой усилителя следует проверить величину нелинейных искажений звукового генератора.

Когда коэффициент нелинейных искажений на выходе усилителя будет доведен до 1%, нужно проверить выходную мощность. Суммарная мощность на выходе усилителя должна быть не ниже 20 *вт*. При этой мощности анодный ток каждой лампы не должен превышать 80 *ма*, а ток экранирующих сеток — 10 *ма*. При бо́льших токах придется снова подбирать сопротивления резисторов автоматического смещения и в цепях экранирующих сеток ламп. Если указанные величины будут получены, регулировку оконечного усилителя можно считать законченной. В противном случае необходимо выяснить причину неудовлетворительной работы каскада. Чаще всего это может быть вызвано несимметричным подключением катодов ламп к обмотке выходного автотрансформатора или недостаточным числом витков, подключенных к катодам ламп. Возможны также ошибки в монтаже или плохое качество ламп.

Следует проверить также уровень фона оконечного каскада. Для этого звуковой генератор отключают от первичной обмотки трансформатора Tp_2 и определяют напряжение фона на громкоговорителях, которое должно быть в 2 000—3 000 раз меньше номинального выходного напряжения. Если фон окажется намного больше, нужно попробовать поменять местами выводы одной из повышающих обмоток выпрямителей оконечных ламп.

По окончании регулировки оконечного каскада вставляют остальные лампы усилителя и производят дальнейшую регулировку. Поскольку этот этап налаживания ничем не отличается от регулировки обычных усилителей, на нем останавливаться не будем. Следует лишь иметь в виду, что при регулировке высокочастотного канала потенциометром R_{13} устанавливают такое напряжение на его выходе, чтобы при мощности основного канала на частоте 1 000 *гц*, равной 15 *вт*, и самой широкой полосе пропускания мощность высокочастотного канала на частоте 7 000 *гц* составляла 3 *вт* при неизменном входном напряжении на усилителе.

Выбор акустической системы для этого усилителя также будет зависеть от индивидуальных требований и возможностей радиолюбителя. Можно рекомендовать двадцативаттную широкополосную акустическую систему (см. стр. 55—56). Но тогда для предотвращения

искажений за номинальную выходную мощность усилителя следует принять 12—15 *вт* и под эту мощность отрегулировать чувствительность усилителя на частоте 1 000 *гц*. Можно, конечно, применить и любую другую акустическую систему, но во всех случаях необходимо строго придерживаться приведенных ранее указаний и рекомендаций.

Трансформаторы и дроссели, примененные в усилителе, имеют следующие данные:

Трансформатор Tp_1. Сечение среднего стержня сердечника 4—6 *см*². Первичная обмотка содержит 900+300+300+900 витков провода ПЭЛ 0,15, вторичная — 60 витков провода ПЭЛ 0,8. Для оптимального согласования с громкоговорителями эту обмотку надо сделать с 2—3 отводами и при регули-

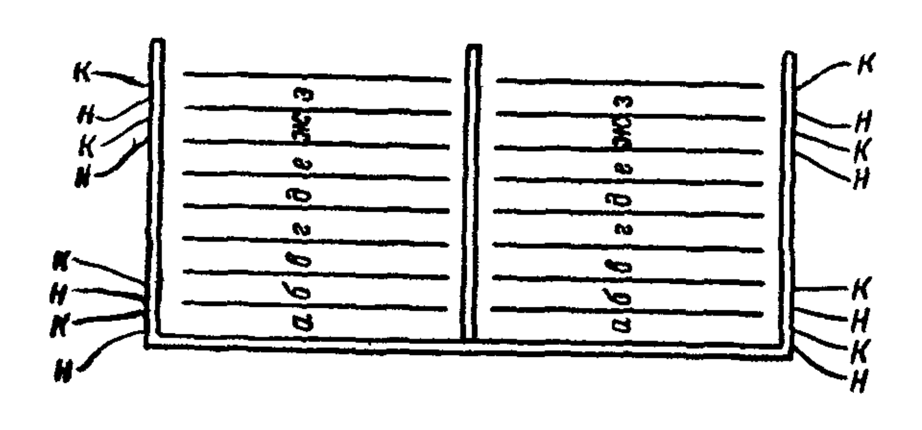


Рис 38. Расположение секций на каркасе выходного автотрансформатора и схема их включения.

ровке выбрать наиболее подходящий из них. Сердечник трансформатора нужно собрать из тщательно изолированных друг от друга окисной пленкой или, еще лучше, тонким слоем лака пластин голщиной 0,2 или, в крайнем случае 0,35 *мм*. Собирать сердечник надо вперекрышку. Стяжные болты лучше применить латунные и обязательно надеть на них бумажные изоляционные трубочки, а под гайки подложить текстолитовые или картонные шайбы. Еще лучше собрать трансформатор на сердечнике из пермаллоя.

Трансформатор Tp_2 изготавливают в соответствии с описанием, приведенным на стр. 15, но наматывают две вторичные обмотки по 600 витков провода ПЭЛ 0,15—0,2 *мм*. При этом в каждой из них желательно сделать по 3—4 отвода.

Выходной автотрансформатор Tp_3 наматывают на сердечнике сечением 8—10 *см*². Секции *а, б, в* и *г* каждой половины обмотки имеют по 30 витков провода ПЭЛ 1,0, секция *д* — 400 витков провода ПЭЛ 0,27—0,35 и секции *е, ж* и *з* — по 150 витков того же провода. Расположение секций на каркасе и их соединение показаны на рис. 38.

Трансформатор питания может быть любой конструкции. Можно, например, применить трансформатор от любого телевизора, использовав сердечник, каркас и первичную (сетевую) обмотку, а повышающие обмотки нужно перемотать так, чтобы выпрямители давали на выходе напряжения порядка 250—270 *в*.

Дроссель фильтра — стандартный от любого телевизора, рассчитанный на номинальный ток 100—200 *ма* В крайнем случае его наматывают по данным такого фабричного дросселя.

Бестрансформаторный усилитель на транзисторах

Усилитель на транзисторах, принципиальная схема которого приведена на рис. 39, предназначен для переносного радиограммофона.

При правильно выбранных режимах оконечного и фазоинверсного каскадов от усилителя можно получить полезную мощность около 4 *вт* при коэффициенте нелинейных искажений порядка 3—4% в полосе частот от 60 до 10 000 *гц*.

Первые два каскада предварительного усиления собраны по схеме с общим эмиттером на транзисторах типа П13—П16. Делители в цепи базы, питающиеся от коллектора, а не от общего минуса, выбраны из расчета хорошей температурной стабилизации каскадов. Оптимальный режим этих каскадов при регулировке усилителя подбирают путем изменения сопротивлений резисторов R_2 и R_9.

Между первым и вторым каскадами включен регулятор громкости R_7, а между вторым и третьим — регуляторы тембра низших и высших звуковых частот. Регуляторы выполнены по «классической» схеме, но включены наоборот, т. е. точка, с которой в ламповых схемах обычно снимают сигнал для дальнейшего усиления, здесь служит входной и на нее подается сигнал от предшествующих каскадов. Такое «обратное» включение применено для получения постоянного выходного сопротивления, так как в противном случае при вращении ручек регуляторов тембра будут появляться нелинейные искажения из-за нарушения согласования между входным сопротивлением последующего каскада и выходным предыдущего.

Следующие два каскада имеют гальваническую связь без переходного конденсатора. Цепь базы первого из них (T_3) соединена по постоянному току с делителем в цепи эмиттера второго транзистора (T_4). Такая система взаимной обратной связи по постоянному току обеспечивает высокую степень температурной стабилизации.

Следующий каскад фазоинверсный. Он собран по схеме с разделенной нагрузкой. Рабочая точка транзистора этого каскада сделана «плавающей», т. е. зависящей от мощности, отдаваемой оконечным каскадом. Это вызвано тем, что режим фазоинвертора из-за гальванической связи с оконечным каскадом постоянно изменяется, в связи с чем для каждого уровня мощности необходимо сдвигать его рабочую точку. Это происходит автоматически при помощи диода $Д_1$ и конденсатора C_{19}. Продетектированное напряжение сигнала, поступающего с нагрузки усилителя, пропорционально выходному переменному напряжению, а, следовательно, и средней мощности в данный момент. Это напряжение через резистор R_{34} подводится к базе транзистора фазоинверсного каскада, чем и достигается автоматическое изменение положения его рабочей точки. Резисторы R_{34} и R_{35} сделаны переменными для упрощения первоначальной регулировки усилителя.

Для повышения чувствительности оконечного каскада и увеличения его входного сопротивления между фазоинвертором и оконечным каскадом включен предоконечный каскад, собранный на транзисто-

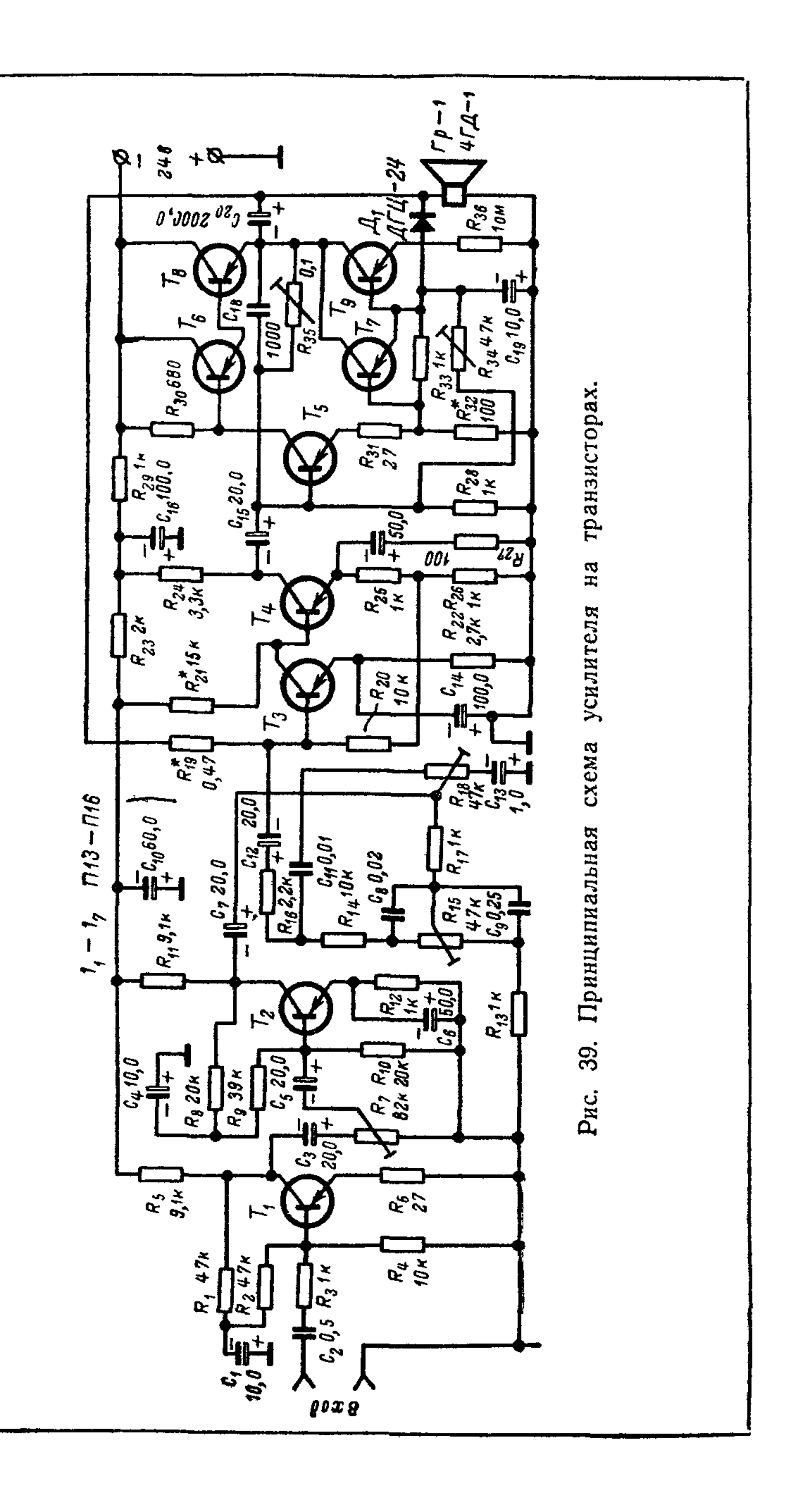


Рис. 39. Принципиальная схема усилителя на транзисторах.

рах T_6 и T_7 (П13—П16) Каждый из них вместе со своим оконечным транзистором образует сдвоенный транзистор, отличающийся весьма высоким входным сопротивлением

Двухтактный оконечный каскад собран на транзисторах T_8 и T_9 (П601) по схеме с последовательным включением (см. стр 16—18). Вместо указанных транзисторов можно применить транзисторы П201—П203

Благодаря низкому выходному сопротивлению оконечного каскада нагрузку к усилителю можно подключить без согласующего (выходного) трансформатора Сигнал на громкоговоритель снимается через разделительный конденсатор C_{20}, максимально возможной емкости При емкости этого конденсатора в 2 000 *мкф* удается удовлетворительно воспроизвести частоты, начиная от 40 *гц* при сопротивлении нагрузки 4,5 *ом* (например, громкоговоритель 4ГД-1)

Транзисторы оконечного каскада нужно расположить на радиаторах из алюминия или красной меди площадью около 100 *см*^{2}. Они должны быть изолированы друг от друга и от шасси. Конструкция усилителя в целом может быть любой

Налаживают усилитель покаскадно, начиная с оконечного каскада, который регулируют совместно с фазоинвертором, поскольку все эти каскады имеют гальваническую связь и не могут регулироваться раздельно Регулировка сводится к подбору такого режима, при котором на нагрузке получается наибольшая неискаженная мощность, а ток покоя не превышает 20% от максимального Каскады предварительного усиления регулируют по методике, указанной выше Чувствительность усилителя устанавливают изменением глубины отрицательной обратной связи, которая зависит от сопротивления резистора R_{19}

Во всех каскадах (кроме оконечного) могут быть применены любые маломощные транзисторы с проводимостью *p-n-p*. П13, П14, П15, П16 и т д Допустимо использование разных типов транзисторов во всех каскадах, кроме фазоинверсного и предоконечного, где все три транзистора должны быть одного типа и по возможности с одинаковыми параметрами.

Стереофонический усилитель

Усилитель состоит из двух идентичных каналов и блока питания Каждый канал представляет собой четырехкаскадный высококачественный усилитель, собранный на лампах 6Ф1П (предварительный усилитель), 6Н2П (фазоинвертор) и 6П14П (двухтактный ультралинейный оконечный каскад)

Параметры одного канала следующие·

неискаженная выходная мощность 10 *вт*;

коэффициент нелинейных искажений 1%;

полоса пропускания, измеренная на эквиваленте громкоговорителей 20—30 000 *гц*,

неравномерность частотной характеристики при средних положениях регуляторов тембра в указанной полосе частот 2 *дб*,

уровень фона и собственных шумов — 60 *дб*.

Регулировка тембра — раздельная по низким и высоким частотам, глубина регулировки 15 *дб*.

Регулировка громкости — плавная, частотнозависимая При уменьшении сигнала на частоте 1 000 *гц* на 40 *дб* уровень на час-

Рис 40 Принципиальная схема стереофонического усилителя.

тоте 60 *гц* понижается на 24 *дб*, а на частоте 8 000 *гц* — на 32 *дб*, что соответствует кривой равных громкостей нормального слуха. Чувствительность со входа может устанавливаться при настройке в пределах от 100 до 250 *мв*.

Принципиальная схема усилителя приведена на рис. 40. Входные цепи обоих каналов состоят из тонкомпенсированных регуляторов громкости и коммутируются кнопочным переключателем $П_1$. При помощи этого переключателя можно включать оба канала раздельно или вместе, т. е. использовать усилитель как стереофонический или как двухканальный монофонический, либо, наконец, как один 20-ваттный монофонический (параллельное соединение обоих каналов).

Первый каскад усиления собран на пентодной части лампы 6Ф1П, второй — на ее триодной части. Между каскадами включены регуляторы тембра, собранные по типовой схеме (см. рис. 19, *б*). Фазоинвертор собран на лампе 6Н2П по схеме на рис. 6. Оконечный каскад — по схеме на рис. 3, *б*.

Таким образом, легко видеть, что весь усилитель компонуется из типовых каскадов, схемы которых подробно рассматривались в предыдущих главах.

Второй канал усилителя полностью аналогичен первому. Регуляторы громкости и тембра обоих каналов управляются общими ручками, как это требуется для стереофонических усилителей. Для этого в конструкции применены спаренные регуляторы.

Единственная общая для обоих каналов деталь — регулятор стереобаланса — резистор R_{17}. Балансировка каналов осуществляется вращением оси регулятора стереобаланса; при этом коэффициент усиления одного канала увеличивается, а другого — уменьшается.

Для того чтобы иметь возможность использовать усилитель с разными акустическими системами, выходные трансформаторы выполнены с секционированными вторичными обмотками, позволяющими согласовывать с усилителем нагрузки, полное сопротивление которых лежит в пределах от 1,5 до 12 *ом*. Конструктивные и моточные данные такого трансформатора приведены на рис. 4 и в соответствующей части текста.

В данной конструкции усилителя все отводы вторичной обмотки выходного трансформатора коммутируются многопозиционным универсальным переключателем (ПУМ) на 11 положений. Если радиолюбитель в точности выдержит при намотке расположение секций и выводов выходных трансформаторов и смонтирует переключатель в соответствии с нумерацией, приведенной на принципиальной схеме, то выходные сопротивления усилителей будут последовательно возрастать при вращении ручки переключателя от одного крайнего положения до другого.

Усилитель питается от двух одинаковых выпрямителей, собранных на диодах серии Д7 по мостовой схеме. Можно применить и один выпрямитель, однако в этом случае будет трудно исключить влияние одного канала на другой при большой мощности (больших амплитудах колебания анодного тока).

Усилитель может быть выполнен в виде настольной конструкции. Примерное расположение деталей на шасси усилителя приведено на рис. 41, а на шасси выпрямителя на рис. 42.

Усилители смонтированы на печатных платах, чем достигнута высокая идентичность параметров обоих каналов, так как при этом случайные паразитные связи и неравенство емкостей монтажа исключаются. Можно смонтировать усилитель и с обычным навесным монтажом.

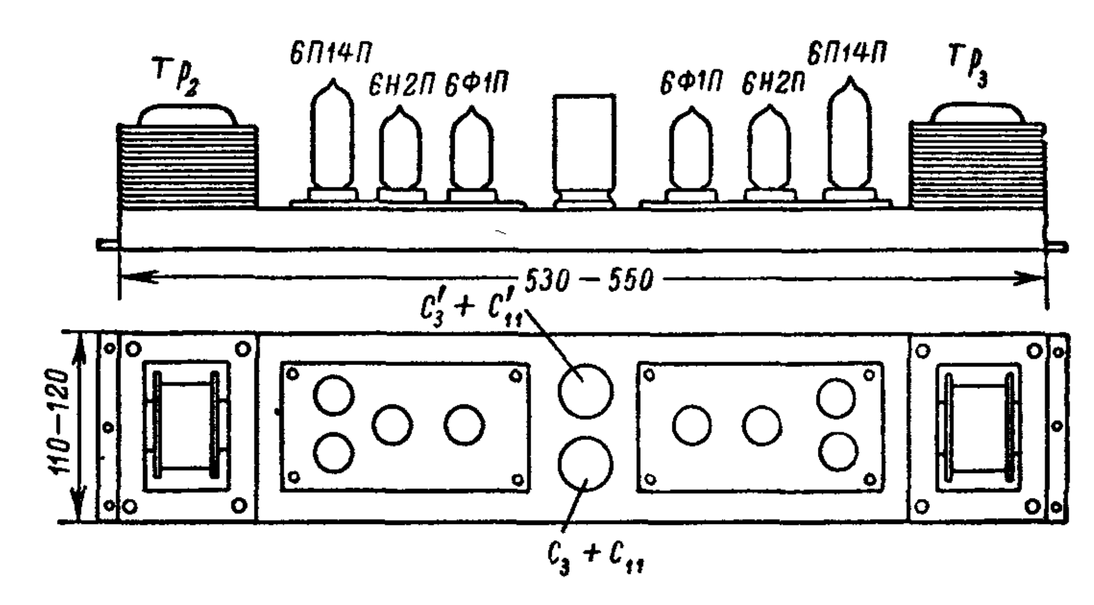
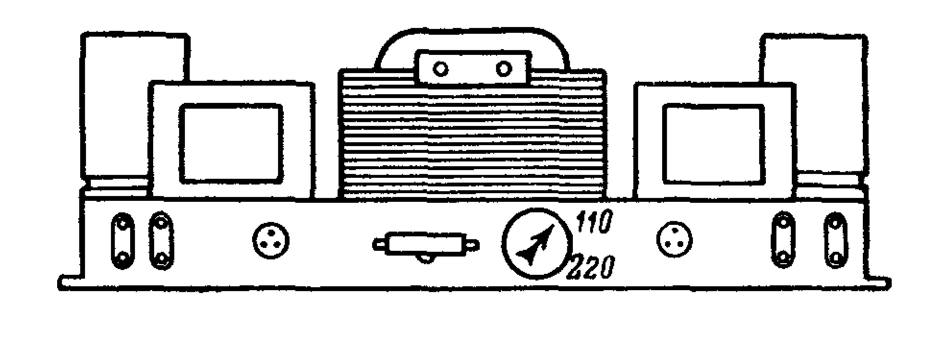


Рис. 41. Расположение деталей на шасси усилителя.



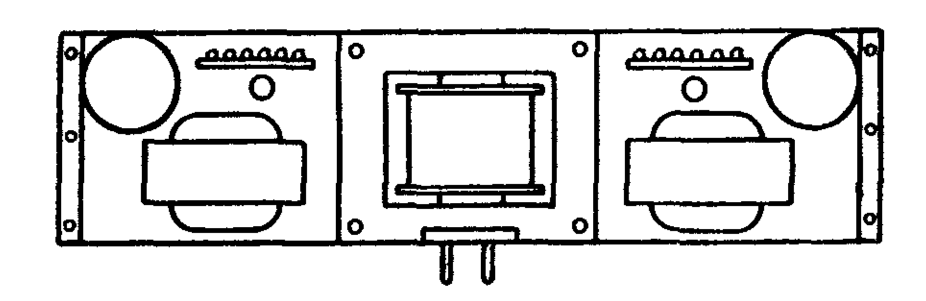


Рис. 42. Расположение деталей на шасси выпрямителя.

На рис. 43 приведен чертеж печатной платы усилителя со стороны схемы, а на рис. 44 — со стороны расположения деталей. Технология изготовления печатных плат в домашних условиях довольно проста. На кусок фольгированного гетинакса со стороны фольги через копировальную бумагу переводят рисунок схемы, а затем любой нитрокраской закрашивают рисунок монтажа в соответствии с

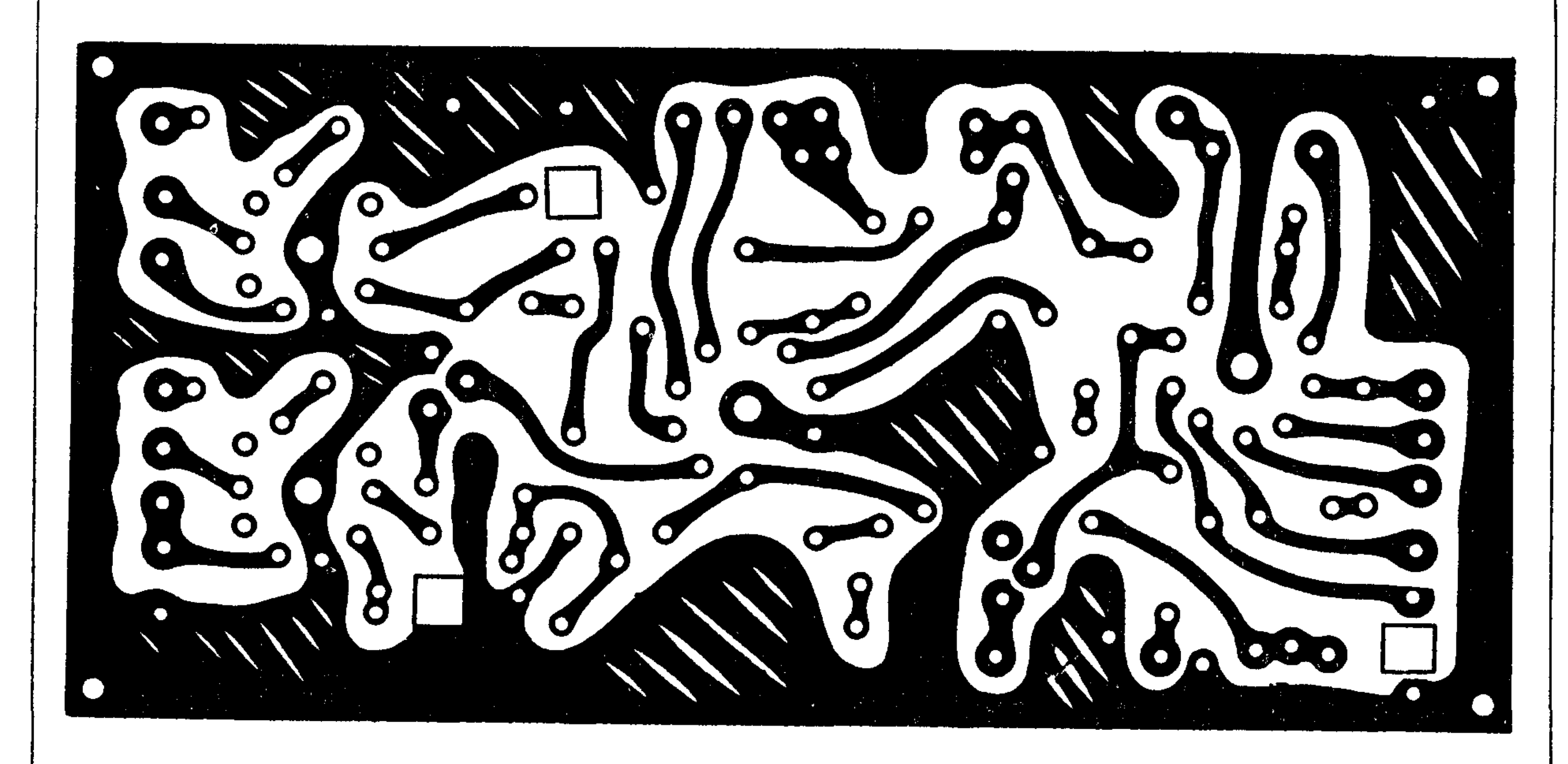


Рис. 43 Печатная плата усилителя со стороны схемы

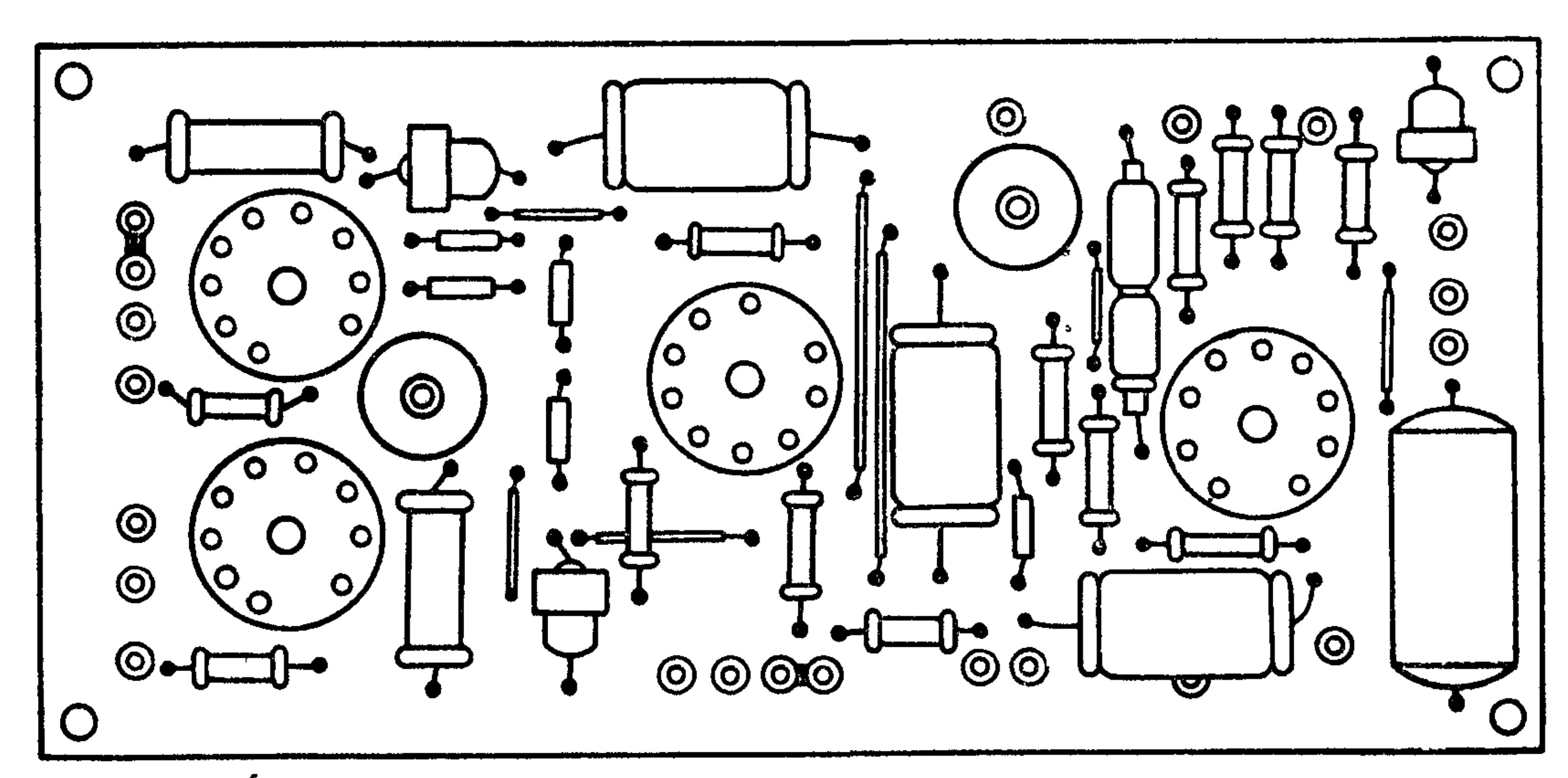
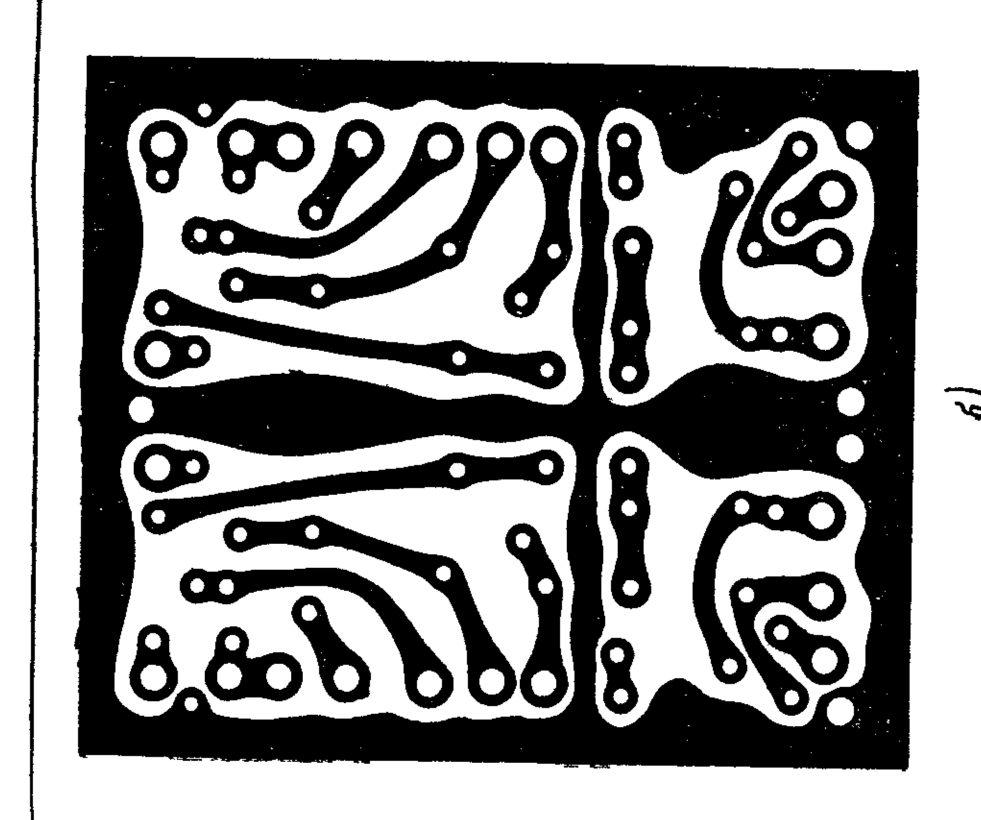


Рис. 44. Печатная плата усилителя со стороны расположения деталей



а) б)

Рис. 45 Печатная плата регулировок тембра и тонкомпенсации.

а — со стороны расположения деталей; *б* — со стороны схемы.

приведенным чертежом. Когда краска высохнет, плату погружают на 2—3 *ч* в раствор хлорного железа, который нужно периодически перемешивать.

После того как все незакрашенные места фольги окажутся вытравленными, плату промывают в чистой горячей воде, просушивают, а затем смывают краску растворителем или ацетоном.

Наконец в плате просверливают все необходимые отверстия, а в те места, куда будут подпаиваться соединительные провода, вставляют и расклепывают пустотелые заклепки.

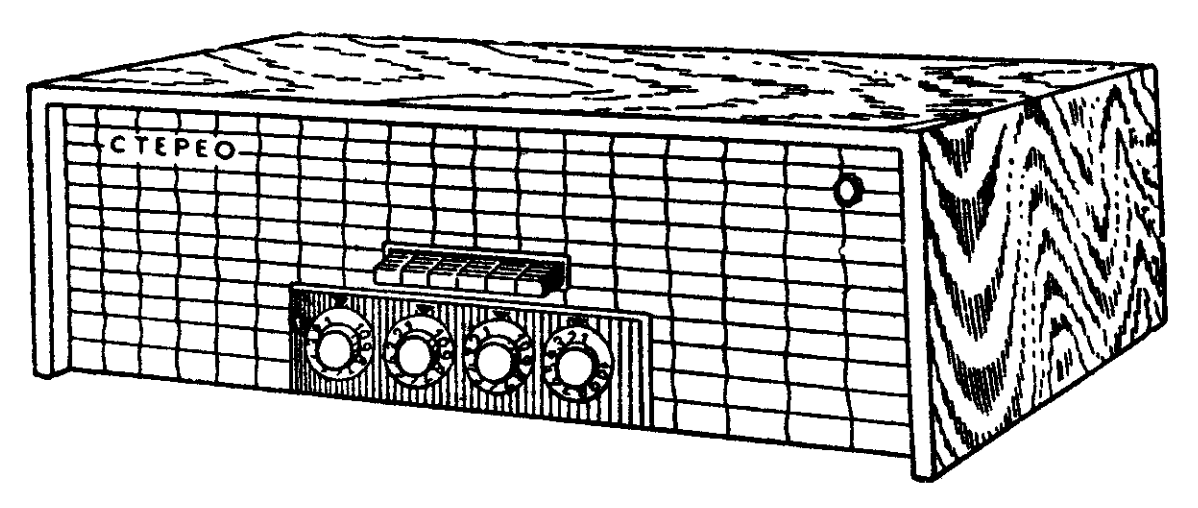


Рис. 46. Внешний вид оформления усилителя.

Рядом с оконечными каскадами усилителя расположены выходные трансформаторы, а все регуляторы — на отдельной металлической пленке, укрепленной на передней панели усилителя.

Все детали, относящиеся к цепям регулировки тембра и тонкомпенсации, также смонтированы на небольшой печатной плате, показанной на рис. 45 и установленной рядом с потенциометрами.

На рис. 46 приведен один из вариантов внешнего вида усилителя. В этом варианте усилитель размещен в небольшом деревянном фанерованном футляре высотой 190, глубиной 250 и длиной 560 *мм*. Там же на передней панели футляра укреплены два громкоговорителя 2ГД-3 (по одному на каждый канал).

Эти громкоговорители используются как контрольные при регулировке каналов, установке на слух стереобаланса, а также в тех случаях, когда усилитель используют в режиме небольшой выходной мощности (не более 2 *вт* на каждый канал).

При работе с большей мощностью эти громкоговорители отключают, и усилитель нагружают на две одинаковые выносные акустические системы номинальной мощностью по 10 *вт* каждая. В качестве таких систем можно рекомендовать агрегаты, состоящие из двух громкоговорителей 4ГД-1 и двух громкоговорителей 1ГД-9. Такой агрегат подробно описан выше.

Возможны и другие варианты акустических систем, например, вертикальные колонки, содержащие по три громкоговорителя 4ГД-1 или по два эллиптических громкоговорителя 5ГД-14.

Если размеры комнаты позволяют разместить в ней небольшую консольную стереофоническую установку, то можно рекомендовать радиолюбителю конструкцию, показанную на рис. 47.

Усилитель в ней размещен в центре футляра, при этом на его шасси смонтирован из фабричных деталей простой УКВ ЧМ приемник с полярным детектором, позволяющий принимать стереофонические передачи, которые в настоящее время регулярно ведутся опытной московской УКВ радиостанцией. На этот приемник можно принимать и обычные, монофонические передачи на УКВ диапазоне.

Справа и слева от усилителя расположены одинаковые акустические камеры, в каждой из которых находятся по два громкоговорителя 4ГД-1 и по два громкоговорителя ВГ-Д. При отсутствии

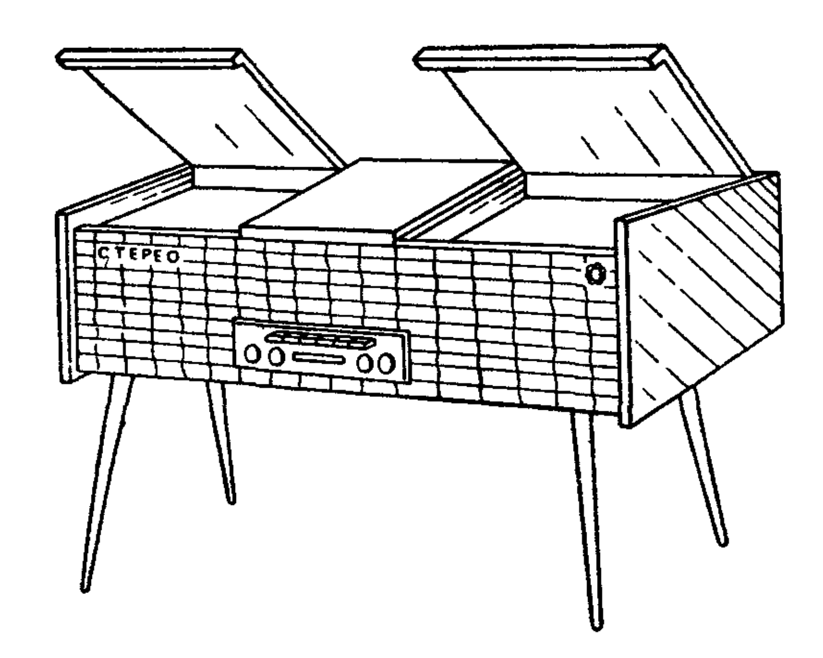


Рис. 47. Внешний вид стереофонической установки.

последних можно использовать громкоговорители 1ГД-18 (1ГД-9) либо специальные высокочастотные головки от акустической установки звукового кино (завода «Кинап»).

В верхней части футляра под откидными крышками расположен стереофонический граммофонный проигрыватель и отсек для хранения пластинок. В конструкции, изготовленной автором, этот отсек использован для размещения стереофонического магнитофона.

Следует предупредить радиолюбителей, что при такой конструкции нужно принять специальные меры для особо «мягкой» подвески проигрывателя, так как при большой выходной мощности и подъеме частотной характеристики в области 30—60 *гц* вся система склонна к самовозбуждению из-за акустической обратной связи.

Помимо использования стандартных пружин, имеющихся на плате проигрывателя, следует применить подвеску проигрывателя при помощи специального двухступенчатого демпфирующего устройства, состоящего из двух одинаковых поясов из мягкой микропористой резины (или губчатого поролона), к обеим сторонам которых (сверху и снизу) клеем АК-20 приклеены рейки из миллиметрового дюралюминия.

Один из этих поясов жестко укреплен на полке футляра, где вырезано отверстие для крепления платы проигрывателя, а к другому присоединены крепежные пружины, установленные на плате проигрывателя. Между поясами по периметру установлены 10—16 мягких коротких пружин (рис. 48).

Такая система подвески хотя и достаточно сложна, но зато позволяет исключить обратную связь футляра со звукоснимателем даже при мощности порядка 15 *вт*.

Акустический объем установки разделен фанерными перегородками на две отдельные акустические камеры (правую и левую), не связанные между собой. Отражательная доска для громкоговори-

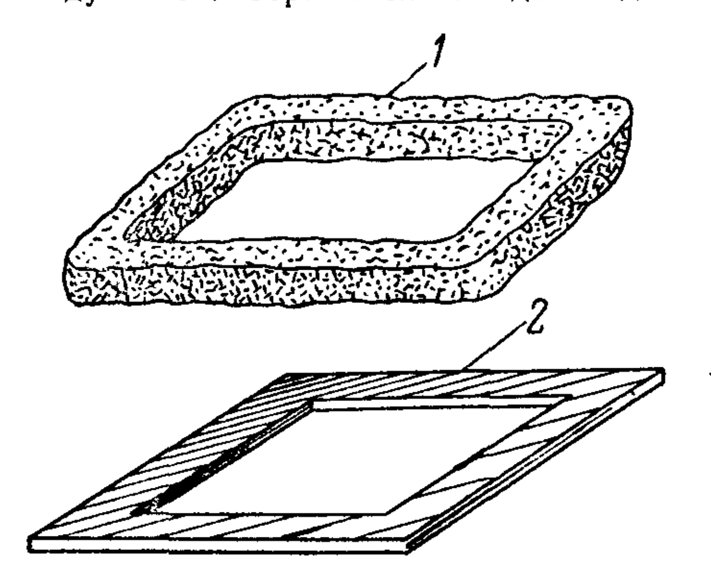


Рис. 48. Детали демпфирующего устройства.

1 — пояс из микропористой резины или губчатого поролона; *2* — пояс из алюминия.

телей каждого канала склеена из еловых брусков, как описано выше.

Точные размеры установки здесь не приводятся, поскольку принцип компоновки ясен из описания и рисунков, что же касается размеров, то они будут зависеть от габаритов узлов, примененных радиолюбителем, а также от размера помещения и вкуса радиолюбителя. Однако для получения стереоэффекта необходимо, чтобы расстояние между громкоговорителями правого и левого каналов было не менее 1,25 *м*.

Все детали, примененные в усилителе — фабричные, за исключением выходных трансформаторов и трансформатора питания. Номиналы резисторов и конденсаторов могут отличаться на ±20% от указанных на схеме, однако одноименные детали в разных каналах должны быть обязательно одинаковыми. Это значит, например, что сопротивление резистора нагрузки вместо указанного на схеме 100 *ком* может быть и 82, и 91, и 110 *ком*, но совершенно недопустимо применить в одном канале резистор, сопротивлением 91 *ком*, а в другом — 100 *ком*.

В фильтре выпрямителя применены сдвоенные электролитические конденсаторы 2×40 *мкф* на напряжение 300 *в*, однако при отсутствии таковых можно применить и другие.

Данные выходных трансформаторов имеются на стр. 15. Трансформатор питания собран на сердечнике из пластин Ш-40, толщина пакета — 50 *мм*. Сетевая обмотка состоит из 304 витков провода ПЭВ 0,74 и 222 витков провода ПЭВ 0,51. Две повышающие обмотки имеют по 710 витков провода ПЭВ 0,23 ÷ 0,27. Обмотки накала для первых ламп каждого канала состоят из 16 витков провода ПЭВ 0,44, а обмотка накала для оконечных ламп из 16 витков провода ПЭВ 1,0.

В качестве выпрямительных элементов можно применить стандартные селеновые мостики АВС-80-260, либо собрать мостовую схему из силовых кремниевых диодов (например, Д7Ж).

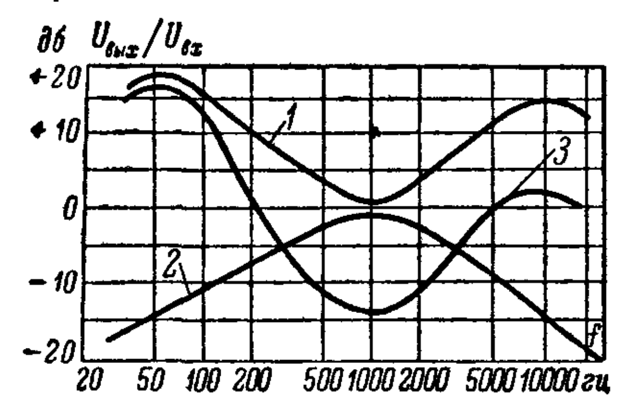


Рис. 49. Усредненные частотные характеристики усилителя.

1 — широкая полоса при максимальной громкости, *2* — узкая полоса при максимальной громкости; *3* — широкая полоса при минимальной громкости.

В качестве переключателя $П_1$ использован кнопочный переключатель от телевизора «Темп-6», однако можно применить и любой другой.

Обязательно следует предусмотреть индикаторную лампочку включения установки, так как из-за весьма низкого уровня собственного фона усилителя можно не заметить, что усилитель включен, и оставить его включенным на длительное время, что может привести к повреждению усилителя

Так как оба канала усилителя совершенно идентичны, ниже будет описана регулировка только одного канала

Прежде всего потенциометр балансировки фазоинвертора (R_{25}), находящийся на печатной плате, нужно установить в положение, при котором его движок заземлен, а потенциометр отрицательной обратной связи (R_{32}) — в положение наибольшего сопротивления.

Убедившись в исправности выпрямителя, подключают к выходу канала громкоговорители Регуляторы громкости и тембра устанавливают в средние положения, к управляющей сетке лампы $Л_3$ (6П14П) подключают соединенные параллельно электронный вольтметр и осциллограф, а на сетку левого (по схеме) триода лампы $Л_2$ (6Н2П) подают от звукового генератора сигнал частотой около 1 000 *гц* такой величины, чтобы на сетке лампы $Л_3$ было напряжение 5 *в*. При этом на осциллографе не должно наблюдаться никаких искажений синусоиды. Далее, не трогая регуляторов и не выключая усилителя, переносят щуп вольтметра и осциллографа на сетку лампы $Л_4$ и, осторожно вращая ручку потенциометра балансировки фазоинвертора (R_{25}), доводят напряжение на сетке этой лампы также до 5 *в*.

Затем снова проверяют напряжение на сетке лампы $Л_3$ Если оно немного изменилось, например, стало 4,5 *в*, то увеличивают сигнал от звукового генератора так, чтобы напряжение на сетке этой лампы вновь стало 5 *в* и снова регулируют балансировку до тех пор, пока напряжение на сетке лампы $Л_4$ не окажется равным 5 *в*. Это повторяют несколько раз до тех пор, пока на сетках обеих оконечных ламп будут одинаковые напряжения. Допустимыми считаются отклонения не более 0,05 *в*.

Следующий этап регулировки — получение минимального уровня собственного фона. Для этого регуляторы громкости и тембра устанавливают в положения максимального усиления, регулятор стереобаланса — в среднее положение, входные гнезда замыкают накоротко, а параллельно громкоговорителям подключают электронный вольтметр.

Переключая постепенно вольтметр на более чувствительные шкалы, определяют напряжение фона. Для его снижения нужно вращать ручку потенциометра балансировки накала (R_{35}) до получения минимального показания вольтметра. Если минимум получается в одном из крайних положений этого потенциометра, или если остаточное напряжение фона превышает 5 *мв*, то необходимо сменить лампу 6Ф1П.

Добившись минимального уровня фона, устанавливают номинальную чувствительность усилителя. Для этого на входные гнезда усилителя подают от звукового генератора сигнал частотой 1000 *гц*, напряжением 150 *мв* и вращают ручку потенциометра обратной связи (R_{32}) до тех пор, пока напряжение на выходе усилителя (при подключенных громкоговорителях) не будет соответствовать номинальной выходной мощности. Для агрегата, состоящего из двух громкоговорителей 4ГД-1 и двух — 1ГД-9 это напряжение составляет 4,2 *в*.

Регулировку канала завершают снятием частотных характеристик усилителя Их нужно снять не меньше трех. Первая характеристика должна соответствовать широкой полосе пропускания при максимальной громкости, вторая — узкой полосе при той же громкости, а третья — широкой полосе при минимально возможной громкости. Усредненные характеристики для этих случаев приведены на рис. 49.

В случае отклонения фактических характеристик от приведенных нужно найти и устранить причину неисправности или ошибку в монтаже. Наиболее вероятны ошибки в номиналах резисторов цепей тонкомпенсации и регулировки тембра. На этом предварительная регулировка одного канала заканчивается.

Затем проверяют работу регулятора стереобаланса. При вращении его ручки из одного крайнего положения в другое усиление одного канала должно уменьшаться, а другого — увеличиваться на 30—50%. Положение регулятора, при котором оба канала имеют одинаковое усиление, нужно пометить как нулевое.

Высококачественные любительские усилители низкой частоты.

М.—Л., издательство «Энергия», 1965
96 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 577).
Темплан 1965, № 189.

Редактор *М. Д. Ганзбург* Техн. редактор *Г. Е. Ларионов*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в пр-во 6/II-1965 г. Подписано к печати 21/IV-1965 г.
Формат бумаги 84×108[1]/[32] 4,92 *п. л.* 6,61 уч.-изд. *л.* Т-03597
Тираж 85 000 экз. Цена 26 коп. Заказ № 559

Владимирская типография Главполиграфпрома
Государственного комитета Совета Министров СССР
по печати.
Гор. Владимир, ул. Б. Ременники, д. 18-б